



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



SECRETARIA DE INVESTIGACIONES Y POSGRADO
CENTRO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS, ADMINISTRATIVAS Y SOCIALES

**UN ESTUDIO SOBRE LA ENERGÍA EÓLICA EN
MÉXICO: APLICACIÓN DE INNOVACIONES
TECNOLOGICAS POSIBLES PARA LA GENERACIÓN
DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN POLÍTICA Y GESTIÓN DEL CAMBIO TECNOLÓGICO

P R E S E N T A :

ARTURO BRAMBILA ROSSELL

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ROLANDO V. JIMÉNEZ DOMÍNGUEZ

MÉXICO, D.F. NOVIEMBRE, 2010



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de MÉXICO, D.F. siendo las 12:00 horas del día 25 del mes de NOVIEMBRE del 2010 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIECAS para examinar la tesis titulada:

"UN ESTUDIO SOBRE LA ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO: APLICACIÓN DE INNOVACIONES TECNOLÓGICAS POSIBLES PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA"

Presentada por el alumno:

BRAMBILA
Apellido paterno

ROSSELL
Apellido materno

ARTURO
Nombre(s)

Con registro:

B	0	8	1	9	6	5
---	---	---	---	---	---	---

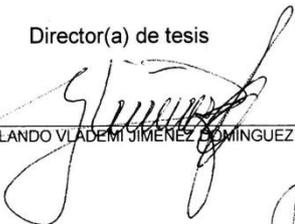
aspirante de:

MAESTRÍA EN POLÍTICA Y GESTIÓN DEL CAMBIO TECNOLÓGICO

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director(a) de tesis


DR. ROLANDO VLADEMI JIMÉNEZ DOMÍNGUEZ

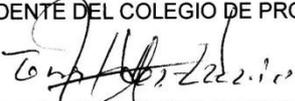

DRA. HORTENSIA GÓMEZ VIQUEZ


DR. RUBÉN OLIVER ESPINOZA


DR. MIJAEAL ALTAMIRANO SANTIAGO


M. EN C. MARÍA ESTELITA SERRAT PÉREZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


DR. ZACARÍAS TORRES HERNÁNDEZ


SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIONES
Y ESTUDIOS ADMINISTRATIVOS
Y SOCIALES



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México el día 25 del mes de noviembre del año 2010, el que suscribe **Arturo Brambila Rossell**, alumno del Programa de Política y Gestión del Cambio Tecnológico, con número de registro **B081965**, adscrito al **Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales**, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del **Dr. Rolando V. Jiménez Domínguez** y cede los derechos del trabajo intitulado “UN ESTUDIO SOBRE LA ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO: APLICACIÓN DE INNOVACIONES TECNOLOGICAS POSIBLES PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: Lauro Aguirre 120, esquina Sor Juana Inés de la Cruz, Col. Agricultura, Del. Miguel Hidalgo, C. P. 11360. México D. F. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Arturo Brambila Rossell

Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco al Instituto Politécnico Nacional por abrirme nuevamente sus puertas a través del Centro de Investigaciones Económicas Administrativas y Sociales. Puertas que me dirigen a un espacio de reflexión, generación de nuevo conocimiento, de intercambio de ideas, de debates, simplemente me abrió la puerta del CAMBIO. Permitiendo a mi mente trazar nuevas metas que no pude haberlas logrado sin la ayuda de su personal docente. Un especial agradecimiento al Dr. Rolando V. Jiménez, por brindarme la oportunidad de navegar sobre su mar de conocimiento, impulsarme a crecer profesionalmente y mostrarme los caminos por los que puedo incursionar para lograr nuevas metas, para el presente trabajo le agradezco y admiro su visión técnica y humanista con la que me ha orientado para lograr los objetivos establecidos, sobre todo en aquellos en los que se creían inalcanzables. A todo mi comité tutorial, a la Dra. Hortensia Gómez, Dra. Pilar M. Pérez, Dr. Rubén Oliver y al Dr. Mijael Altamirano, por proporcionarme su confianza, amistad y un espacio en sus vidas para transformar la mía. Y hacer que mis pensamientos fueran encaminados en la mejor dirección posible para lograr lo que en las próximas páginas plasmo.

Agradezco al CIDE y la UNAM por darme facilidades de acceso a sus instalaciones y a información valiosa y útil para el presente trabajo.

A mis compañeros y amigos de generación Martín, Thalía, Sandra, Nevid, Oscar, Paty, Alejandro que me han dejado compartir momentos gratos durante la maestría y el presente trabajo de investigación, les doy las gracias, sin dudar que la amistad generada perdurará por mucho tiempo más.

A mis papás, por haberme enseñado a que las metas son alcanzables cuando se es perseverante, paciente, y se sabe escuchar la voz de los expertos, agradezco por su apoyo en toda la extensión de la palabra... GRACIAS... a mis hermanos, Renata, Diego, Sergio Carlos, por escucharme, aconsejarme y ser parte de mi día a día.

A los que quisiera que estuvieran pero no lo están, mis abuelos, Juan Carlos, gracias de alguna manera están presentes y el presente trabajo de igual manera es parte de lo que me han legado.

Índice

Contenido	Página
Resumen	7
<i>Abstract</i>	8
Glosario	9
Siglas	10
Índice de cuadros, diagramas, figuras y gráficas	12
Introducción	14
Capítulo I. Marco teórico	17
1.1 La innovación en la industria eólica	17
1.2 La siguiente ola tecnológica de la eoloelectricidad	20
1.3 Transferencia de tecnología (TT) y la industria eoloeléctrica	23
1.4 La información como fuente de innovación en la industria eoloeléctrica	24
1.5 Mecanismos para implementar e impulsar la innovación de la energía eólica en las naciones	28
1.6 Diversificación en la industria eoloeléctrica	34
1.7 Capacidades tecnológicas (CT) en la industria de la energía eólica	37
Capítulo II. Experiencias internacionales de innovación en la industria de la energía eólica	42
2.1 Estado actual de la tecnología	42
2.2 Fuentes primarias y tipos de plantas generadoras	50
2.3 La generación de energía eólica en el mundo	52
2.4 Mecanismos para impulsar la energía eólica	55
2.5 Eficiencias y costos en la industria eoloeléctrica	58
2.6 Barreras de entrada de la energía eólica	61
Capítulo III. Energía eólica en México	62
3.1 Situación actual de la energía eólica	62
3.2 Proyectos de desarrollo tecnológico en materia de eoloelectricidad	67
3.3 El potencial eoloeléctrico de México	77
3.4 Ventajas económicas y ambientales de la energía eólica	80
3.5 Análisis del proyecto “Plan de acción para la eliminación de barreras para la implementación de la generación de la eoloelectricidad en México”	83

3.5.1 Proyecto “Plan de acción para la eliminación de barreras para la implementación de la generación de la eoloelectricidad en México”	84
Conclusiones	88
Sugerencias para futuros trabajos	92
Bibliografía	93

Resumen

El presente trabajo analiza la problemática del desarrollo tecnológico y las innovaciones en relación con la industria eoloeléctrica en México, tomando como referencia el estado actual de desarrollo y las innovaciones existentes en países como E.U., Alemania y España, que se contrastan con México. Se describen las innovaciones eoloeléctricas como “innovaciones incrementales”, ya que los principios básicos y la tecnología de soporte siguen siendo esencialmente los mismos. Se revisan los aspectos principales que deben considerarse para impulsar el desarrollo tecnológico e innovación para la aplicación de esta tecnología en México. Se describe también el papel que juega la transferencia de tecnología para la generación de capacidades tecnológicas en la industria eoloeléctrica nacional; se observa que métodos de ingeniería inversa para la generación de conocimiento no se aplican, cuando pueden hacerse con ventajas económicas y sociales para el sector. Se consideran instituciones gubernamentales como: el IIE, la CFE, la SENER que han realizado investigación y desarrollo o han funcionado como gestores en el área, principalmente la primera, que ha sido pionera en México en estos temas.

Finalmente, se presenta un análisis de los proyectos y desarrollos eólicos que se han realizado en la última década en el país, y se exploran posibilidades de crecimiento futuro y los límites de la capacidad de generación eólica para la integración del balance energético global del sector eléctrico nacional.

Abstract

This thesis work analyzes the main problems of the wind energy industry in Mexico in connection with the technological developments and innovations in the field, taking as a reference what has been done in countries like the U.S., Germany and Spain. Wind energy innovations are described as “incremental innovations” since the basic principles and main technologies are essentially the same. The main aspects to be considered for the application and improvement of this technology in Mexico are also reviewed. The role of technology transfer in the generation of technological capabilities for the national wind energy industry is described, as well as the reverse engineering methods that could be used to produce new knowledge with social and economical advantages for the industry. Some governmental organizations like IIE, CFE and SENER have been taken particularly into consideration due to its remarkable role as research or promoters agents of the field, specially the first of them, which has been a leader of this industry in Mexico.

In the final part of the work we analyze the projects and developments on wind energy that were carried out during the last ten years and explore the future growth possibilities for the wind energy industry in Mexico, as well as the limit amount of its contribution for the global energetic balance of the national electric sector.

Glosario

Aerogenerador	Es una turbina accionada por la fuerza del viento.
Áreas potenciales	Aquella superficie o terreno en el que los índices de velocidad de viento son constantes en un rango de: 32 a 34 km/h.
Atlas Eólico	Mapa con dirección y sentido de los vientos en la República Mexicana.
Energía eléctrica	Es el paso de electrones por un conductor con el fin de realizar un trabajo.
Energía eólica	Es toda aquella energía que se obtiene por el funcionamiento de un aerogenerador.
Eoloelectricidad	Es la electricidad proveniente del viento, resultado de la transformación de una fuerza aplicada (viento) en un aerogenerador.
Fuente alterna de energía	Aquella tecnología utilizada para generar electricidad de una manera no convencional, es decir, de aquella tecnología que en su proceso no utilice hidrocarburos para su transformación en energía eléctrica.
Industria eólica	Toda aquella industria que está involucrada en la construcción y operación de la energía eólica.
Parque eólico	Área o superficie sobre un terreno en el que se erigen los aerogeneradores con el fin de producir electricidad.
Potencia total instalada	Energía total por unidad de tiempo expresada en unidades de potencia (watt).

Siglas

AWEA	Agencia Americana de Energía Eólica
AEE	Asociación Empresarial Eólica
CT	Capacidades Tecnológicas
CEMEX	Cementos Mexicanos
CERTE	Centro Regional de Tecnología Eólica
CIP	Clasificación Internacional de Patentes
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
E.U.	Estados Unidos
ESEA	<i>European Strategic Environmental Assessment</i>
GID	Gasto en Investigación y Desarrollo
GE	<i>General Electric</i>
GWh	Gigawatt hora
GEF	<i>Global Environmental Found</i>
ISI	Industrialización por Sustitución de Importaciones
IIE	Instituto de Investigaciones Eléctricas
IMPI	Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IPN	Instituto Politécnico Nacional
IEA	<i>International Energy Agency</i>
I+D	Investigación y Desarrollo
kW	Kilowatt

km ²	Kilómetros cuadrados
km/h	Kilómetros por hora
MW	Megawatt
MWh	Megawatt hora
Mtoe	<i>Million tonnes of oil equivalents</i>
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
PJ	Petajoules
PIB	Producto Interno Bruto
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
PSE	Programa Sectorial de Energía
SENER	Secretaría de Energía
SEMARNAT	Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales
TWh	Terawatt hora
TT	Transferencia de Tecnología.
USPTO	<i>United States Patent and Trademark Office</i>
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
VT	Vigilancia Tecnológica
W/m ²	Watt por metro cuadrado

Índice de cuadros, diagramas, figuras y gráficas

Contenido	Página
Cuadro 1. Definiciones, de diferentes autores, de inteligencia tecnológica	25
Cuadro 2. Fondos de apoyo a la ciencia y tecnología en América Latina	32
Cuadro 3. Capacidades tecnológicas	40
Cuadro 4. Cantidad de patentes por rama en E.U	44
Cuadro 5. Cantidad de patentes por rama en Alemania	45
Cuadro 6. Principales empresas que dan servicio y fabricación de plantas eoloeléctricas	47
Cuadro 7. Cantidad de patentes por rama en España	48
Cuadro 8. Distribución de energéticos a nivel mundial para 2006	50
Cuadro 9. Fuentes primarias de energía eléctrica por región	50
Cuadro 10. Distribución (GWh) de energía eólica	52
Cuadro 11. Prototipos de aerogeneradores en El Gavillero	68
Cuadro 12. Proyectos de desarrollo en tecnología eólica	70
Cuadro 13. Patentes otorgadas en México referentes a motores de viento y formas de producción, conversión o distribución de la energía	73
Cuadro 14. Proyectos por empresa	79
Diagrama 1. Dimensión de la innovación	20
Diagrama 2. Parámetros que rigen la competencia en un sector (según Porter) y tipos de vigilancia asociados	25
Diagrama 3. Diferencias y similitudes entre vigilancia tecnológica e inteligencia tecnológica	26
Diagrama 4. Políticas lineales. <i>Top-down</i> oferta selectiva	30
Diagrama 5. Diversificación en la industria eólica	35
Diagrama 6. Instrumentos de política energética	58
Figura 1. Fundamento de un aerogenerador	21
Figura 2. Trayectoria tecnológica de la industria eoloeléctrica en E.U. 1980-2015	22
Gráfica 1. Cantidad de patentes hasta 2009 E.U. vs Alemania	46
Gráfica 2. Generación de energía eólica por comunidades españolas para 2008	48
Gráfica 3. Producción de energía primaria, 2007 (10,522.966 PJ)	62
Gráfica 4. Total de volumen de exportación de petróleo	63
Gráfica 5. Producción de crudo 2002-2008	63
Gráfica 6. Usuarios de energía eléctrica por sector	64
Gráfica 7. Proyectos de autoabastecimiento con energía eólica de empresas privadas	79
Gráfica 8. Datos energía eólica. La Venta. Oaxaca	81
Gráfica 9. Volumen de ventas de energía eléctrica (MW-h)	82

Gráfica 10. Personal ocupado	83
Gráfica 11. Remuneraciones (miles de pesos 2008)	83

Introducción

Desde la utilización de la parafina para las velas hasta la utilización de nuevas tecnologías en el sector eléctrico, el hombre se ha visto en la necesidad de producir bienes y/o servicios necesarios para satisfacer las necesidades cotidianas en las comunidades, por ello es necesario el suministro continuo de energía eléctrica, resultado del procesamiento de una fuente primaria que generalmente son recursos no renovables como el petróleo, carbón, gas natural.

El mundo en general ha sido transformado química y ecológicamente en su estructura por el uso excesivo y continuo de estos recursos altamente generadores de gases nocivos para el hombre y el medio ambiente, por lo que en general las naciones desarrolladas y algunas naciones emergentes se ven preocupados por llegar a consensos internacionales para definir el futuro energético y sustentable mundial.

De esta forma la energía eólica ha venido a formar parte de las innovaciones más importantes para el sector eléctrico, debido a que cambió la forma de concebir la producción de energía eléctrica, pero además se ha demostrado a través de estudios recientes que tiene impactos positivos en la economía de los países productores de dicha tecnología, así como también de aquellos que la llegan a adoptar, generando nuevos empleos, conocimiento e innovaciones incrementales que permiten un uso más eficiente y sustentable.

Este trabajo de tesis se centra en el estudio de la energía eólica comparando países desarrollados: E.U. Alemania, España y por otra parte México, estudiando los escenarios de desarrollo tecnológico y de innovación. Así mismo se aborda la literatura existente de innovación tecnológica en energía eólica nacional e internacional, por lo que el presente trabajo viene a aportar una pequeña porción más de conocimiento sobre el tema.

La generación de nuevas tecnologías acompañadas de innovaciones en la industria de la energía eólica, viene acompañada de mecanismos que permiten la creación de ambientes o atmósferas propicias para generar nuevos conocimientos y aterrizarlos en productos nuevos lanzados al mercado, como menciona von Hippel (2004) y es discutido en los capítulos posteriores la innovación no sólo viene del productor también puede provenir de los usuarios, acontecimiento que no sólo sucede en la industria eólica, sino en todas, pero dentro de la cadena productiva de la industria eólica, las innovaciones más relevantes se dan en métodos de producción, instalación, nuevos materiales, modelos y accesorios, que a su vez como menciona Schumpeter se dan innovaciones en forma de racimo de uva, esto a su vez genera

redes complejas entre los sectores productivos y los actores políticos, económicos, científicos entre otros, que permiten como ya se mencionó anteriormente los mecanismos y medios de cultivos propicios para que se pueda dar la innovación en la industria de la energía eólica.

En países europeos y en E.U. son las regiones del mundo donde más se puede observar y estudiar la innovación tecnológica de la energía eólica, en dichas naciones existen incrementos en más de un doscientos por ciento de la producción de aerogeneradores, instalación y producción de energía eléctrica con esta tecnología, en proyectos conjuntos e integrales a corto, mediano y largo plazo. A nivel mundial la energía eólica ha permitido no sólo el suministro de energía eléctrica si no la generación de empleo para las comunidades cercanas donde se implementa dicha tecnología, desarrollando también a su vez capital humano altamente especializada capaz de generar las capacidades tecnológicas y aprendizaje continuo para llevar a cabo la aplicación de nuevo conocimiento en la tecnología y llevarla al mercado.

En México como en el capítulo III se estudia, cuenta con lugares estratégicos donde sus recursos eólicos pueden ser explotados, pero más importante puede generar caldos de cultivo en dichas zonas para la producción de tecnología e innovación en materia de energía eólica.

Por lo anterior, el objetivo principal de este trabajo es analizar la problemática tecnológica y de innovación de la energía eólica México respondiendo a una pregunta ¿Tiene México innovación en materia de energía eólica? En caso de existir ¿Cuál es su impacto en el sector? De no existir ¿Qué es lo que hace falta para que se pueda dar?.

La estructura del trabajo de tesis es la siguiente.

En el capítulo uno se analiza el marco teórico, donde se abordan temas como innovación principalmente, ciclo de innovación tecnológica de la industria eólica, la importancia de la TT y de la generación de capacidades tecnológicas.

En el capítulo dos se analiza la experiencia de Alemania, E.U. y España que son considerados los principales productores de innovación en energía eólica, con el fin de proporcionar datos relevantes de la industria eólica.

En el capítulo tres se analiza la problemática de México estudiando temas como la situación actual de la energía eólica, los proyectos principales en materia de eoloelectricidad, el potencial existente de producción de energía eléctrica con energía eólica, su impacto

económico y ambiental y el último desarrollo de proyectos eólicos incluido el CERTEE. Por último se establecen las conclusiones y sugerencias.

Capítulo I. Marco teórico

Para sustentar las bases teóricas de este trabajo de tesis, el capítulo uno retoma ideas y conceptos claves que permitirán abordar y analizar durante el estudio, la problemática de innovación tecnológica que tiene México en materia de producción de energía eléctrica con nuevas formas de generación, como lo es la energía eólica.

1.1 La innovación en la energía eólica

El término de innovación ha sido descrito por varios autores que han venido a enriquecer su significado desde varias perspectivas, como un cambio tecnológico, como un cambio organizacional, como una nueva manera de hacer las cosas tanto organizacionalmente como de procesos de producción, pero con una semejanza en todas ellas, que es su comercialización, o adquirir un beneficio económico a través de su implementación. A continuación se realiza una breve descripción de los principales autores que para el presente estudio son relevantes, y que a su vez describen la situación actual por la que atraviesa la industria eólica, en términos de la innovación.

Para Schumpeter la innovación es “la creación de una nueva función de producción. Esto abarca el caso de un producto nuevo y los de una forma nueva de organización o fusión, o la apertura de nuevos mercados” (Schumpeter 1939, citado en Rosenberg 1979: 68). Así mismo también argumenta que: “los emprendedores buscarán la forma de utilizar la innovación tecnológica – un nuevo producto/servicio o un nuevo proceso para hacer las cosas - para obtener una ventaja estratégica” (Schumpeter, citado en Tidd et al 2005:7). La innovación tecnológica en el sector eléctrico a nivel mundial y en particular nacional, se puede dar en aquellas tecnologías que utilicen recursos tanto renovables como no renovables para la generación de energía eléctrica. Es considerado por algunos autores que la tecnología como la hidroeléctrica ha alcanzado su punto de madurez, por lo que las innovaciones incrementales se van desarrollando en tiempos más prolongados, a menos que exista una innovación radical que revolucione la tecnología y la forma de concebir el problema de la aplicación de dicha tecnología. Para el caso de la energía eólica es una tecnología relativamente nueva que a partir de los años ochentas comenzó a tomar relevancia para la producción de la electricidad, si bien no se genera un mercado nuevo (ya que el producto final es la electricidad y los consumidores de electricidad ya existen) la eolelectricidad es considerada innovadora ya que la forma de

producir energía eléctrica es diferente a como se concebía antes de que existiera, es decir se cambia una forma de concebir un fenómeno, y que a su vez reedita económicamente en la sociedad, en las empresas y en el gobierno.

La innovación regional, es de gran importancia para el desarrollo de la tecnología eólica ya que este tipo de tecnología requiere de la participación de diferentes actores (gobierno, empresas, academia, fuentes de financiamiento), aglomerados en una misma región, debido a la naturaleza del producto y de su producción (tecnología de grandes dimensiones que hacen su traslado costoso, para continuar su ensamble en diferentes lugares), por lo que las cadenas productivas tienden a estar cerca de la empresa productora, lo que trae consigo un detonador para el desarrollo tecnológico y de innovación regional. Zoltan (2000), enmarca a la innovación en un sistema regional, en donde hace referencia a los procesos que son nuevos para el sistema o incluso para el universo en donde se desarrolla. Cabe mencionar que el sistema lo indica como los actores institucionales, que en su conjunto, juegan un papel primordial para incentivar la actividad innovadora.

El desarrollo regional de innovación de la industria eoloelectrónica, además de ser un detonador para el desarrollo tecnológico y de innovación, atrae otros aspectos socioeconómicos que convergen en bienestar, como define Drucker, la innovación es: “el uso sistemático como oportunidad de los cambios en la sociedad, en la economía, en la demografía y en la tecnología” (Drucker citado en Escorsa et al. 2006:38).

Por último la definición de innovación de procesos desde el punto de vista de operaciones, nos lo brinda Roberts, quien dice: “la innovación está compuesta por dos partes, la generación de una idea o invención y la conversión de esa invención en negocio u otra aplicación útil: innovación = invención + explotación” (Roberts, 1988, citado en Ettlíe, 2000:38). En la industria eoloelectrónica es evidente que la innovación de proceso se ha visto compuesta por innovaciones incrementales, en la medida en que se van mejorando los procesos productivos y las tecnologías periféricas (aquellas tecnologías que hacen posible el proceso productivo de la tecnología) y la forma en que se fabrican los componentes que integran los aerogeneradores, es en la medida en que los tiempos de producción y capacidades de producción de energía eléctrica, se ven favorecidas.

Para fines prácticos de este trabajo la innovación se define como, cualquier invento, de proceso y/o servicio que tenga como fin último su comercialización para el bienestar de una

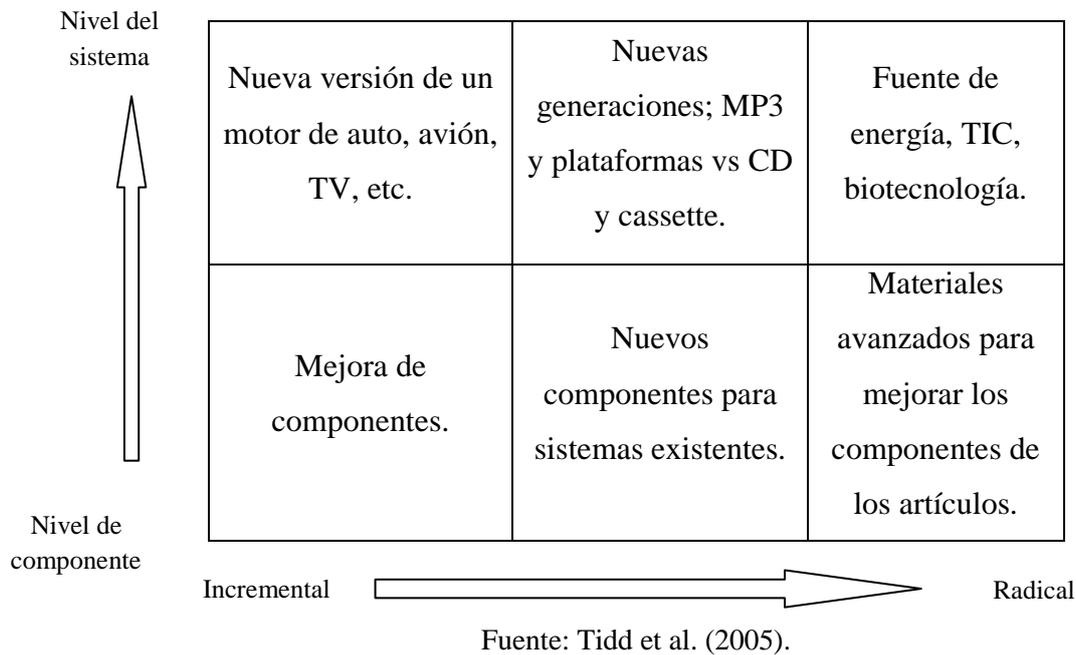
sociedad. La eoloelectricidad será vista como una innovación de proceso incremental, partiendo de la premisa que la forma de producir la energía eléctrica ha adquirido una nueva forma de concebirse en su forma de producción, que a su vez tecnológicamente hablando las mejoras que se le pudieran hacer permitirán alcanzar su etapa de madurez.

Para Tidd et al. (2005) existe una clasificación que le denomina las ‘cuatro P’ de la innovación en las que engloba:

- Innovación de producto; que se refiere a los cambios que pudieran surgir en productos o servicios, con un fin comercial.
- Innovación de proceso; es el cambio existente en el proceso de hacer las cosas.
- Innovación de posicionamiento; cambios en el contexto en el cual los productos y/o servicios son introducidos.
- Innovación de paradigma; es el cambio en la forma de percibir la realidad y en la forma en la que la organización lo hace.

De la misma forma plantea en un segundo plano una subclasificación en la que hace referencia a las innovaciones incrementales y radicales, las primeras como su nombre lo indica son innovaciones que se van fraguando a través del tiempo, son generalmente mejoras a los componentes de las innovaciones existentes, pero a su vez también pueden adquirir cierto grado de sofisticación, mientras que las innovaciones radicales siempre son de alta sofisticación, generalmente son nuevos materiales, una fuente de energía, es decir, es nuevo para el mundo; como se muestra en el diagrama 1.

Diagrama 1. Dimensión de la innovación



La clasificación que se tomará, será la utilizada por Tidd, en la que enmarca la innovación de proceso y su subclasificación de innovación incremental (como ya se menciono anteriormente), que a su vez como indica Escorsa et al. (2006) las innovaciones incrementales generalmente vienen acompañadas de las necesidades del mercado.

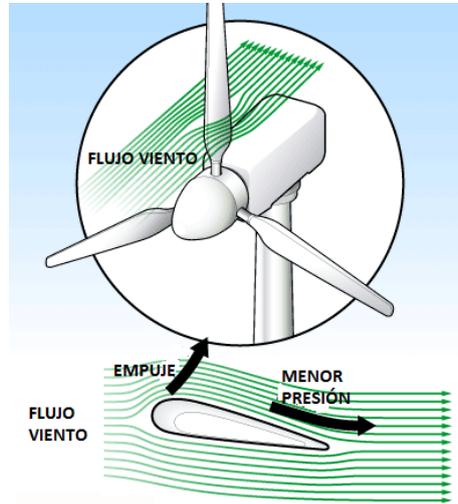
1.2 La siguiente ola tecnológica de la eoloelectricidad

Para comprender mejor la problemática tecnológica y de innovación de la industria eólica así como ubicar mejor su clasificación se debe analizar su ciclo de innovación, según Utterback (1994) la mayoría de las innovaciones son en suma un conjunto de cambios incrementales que a través del tiempo se van generando, hablando en términos de la energía eólica este hecho es lo que ha generado la tecnología como actualmente se conoce.

La problemática de la innovación de la energía eólica se fundamenta en su principio de funcionamiento y en las condiciones bajo las que opera, en general la generación de la energía eléctrica con energía eólica, opera debido al movimiento que existe entre un rotor y un generador de electricidad, por la fuerza proveniente del viento, algunos estudiosos han analizado este fenómeno y lo asemejan a la fuerza sometida del ala de un avión, en la que

existen áreas de alta y baja presión, generando un impulso vertical, que para el caso de la hélice de un aerogenerador es una fuerza horizontal, como se muestra en la figura 1.

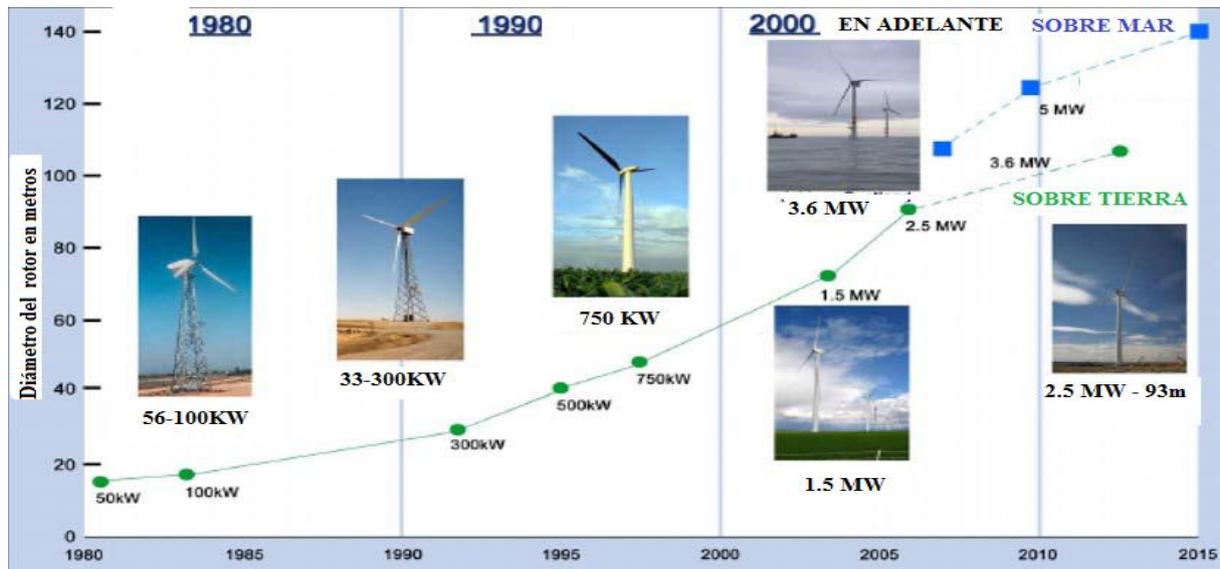
Figura 1. Fundamento de un aerogenerador



Fuente: elaboración propia con datos de AWEA (2009).

El ciclo de innovación tecnológica de la industria eolieléctrica tiene sus orígenes en Holanda en el año de 1888, con el aerogenerador Brush que producía 12 kW, es hasta 1980 casi cien años después que su capacidad de generación se ve incrementada hasta generar 50 kW y a la fecha existen aerogeneradores que pueden producir de 3.5 a 5 MW. Como se muestra en la figura 2. Esto es a los adelantos tecnológicos que se han generado a través del tiempo.

Figura 2. Ciclo tecnológico de la industria eoloeléctrica en E.U. 1980-2015



Fuente: elaboración propia con datos de AWEA (2009).

De la figura 2. Se puede observar una proporción directa entre el diámetro del rotor y el aumento en la producción de energía, para la década de los años ochentas el diámetro del rotor media menos de veinte metros y producía alrededor de 50kW, para finales de la década de los noventa la tecnología permitió el desarrollo de rotores mas grandes aproximadamente de cuarenta metros, lo que permitía mayor producción de energía (750 kW), para la última década del 2000 el diámetro de los rotores han alcanzado los noventa metros con una producción de 2.5 MW. Su ciclo de innovación como se observa en la figura anterior está alcanzando su punto de madurez, con un diseño dominante de triple hélice, aún cabe señalar que existen diseños de doble hélice o incluso de una sola pero que no han adquirido gran impacto en la producción de energía o simplemente no se han vuelto un diseño dominante como el de triple hélice.

Este apartado es de importancia debido a que nos permite visualizar el origen en términos generales de:

- El origen de la innovación.
- Su ciclo de innovación.
- El posicionamiento y relevancia que ha adquirido el diseño dominante de triple hélice.

- La proporción directa de innovación-producción de energía.
- Y la tendencia de la siguiente ola de innovación tecnológica de la industria eólica, que puede ser en la explotación de vientos mar adentro. Cabe destacar que en la actualidad se está explotando pero aún no se ha llegado a un límite tecnológico que impida su explotación del recurso eólico mar adentro. Si se observa la figura 2, se indica el surgimiento de un nuevo ciclo tecnológico que se da aproximadamente en el año dos mil.

1.3 Transferencia de tecnología (TT) y la industria eoloelectrónica

Como se describe en el capítulo II la transferencia de tecnología que se ha desarrollado en empresas como VESTAS de origen holandés y GAMESA de origen español, es un caso de estudio que se aborda para contrastar las capacidades tecnológicas que ha venido desarrollando España durante su corto pero exitoso periodo de innovación tecnológica en la industria eólica, existen varios métodos para que se pueda llevar a cabo la transferencia de tecnología según Erosa et al. (2007) se puede dar de una forma vertical u horizontal la primera se refiere a una TT dentro de las organizaciones, mientras que en la TT horizontal se pueden destacar tres fases principales, relevantes para el presente estudio: 1) existe transferencia de materiales, 2) de diseño, 3) de capacidades. La TT trae consigo un detonador de generación de nuevos productos para la industria eólica, y en cualquier caso lo que se puede observar es que la TT genera *spin-off* dentro del mismo sector eléctrico. En cuanto a diseño se refiere, el intercambio de nuevos software, nuevas imágenes, nuevas formas de calcular los rotores y torres que soportan estos, son imprescindibles para que se genere una industria eólica con base tecnológica de gran impacto dentro y fuera de los sectores productivos. Por último las nuevas capacidades que se adquieren son una parte importante del proceso de adopción de nuevas tecnologías, ya que una vez instalada la tecnología, se generan nuevas capacidades, nuevo conocimiento, nuevas experiencias, que son de gran utilidad para adquirir, generar y transferir nuevas tecnologías.

La TT entre los países desarrollados, es otro factor importante a considerar para el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías (en específico de energía eólica), que a través de tratados de propiedad intelectual permiten a sus regiones la explotación del conocimiento para el bienestar de la población, como lo ha demostrado Higinio (2004), quien asegura que, el

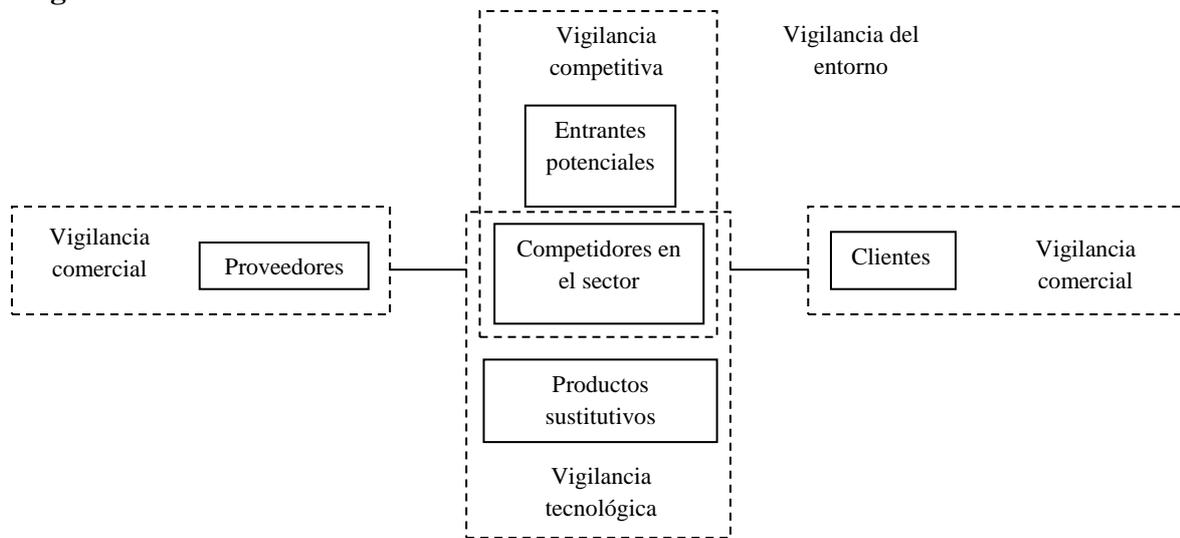
tamaño de mercado, la infraestructura, gasto para la I+D, los niveles de derechos de propiedad intelectual, la cantidad de recursos humanos capacitados, la importación de alta tecnología, son todos indicadores importantes para medir el grado de innovación, teniendo altos índices principalmente en: exportaciones de alta tecnología, capital humano capacitado, y gasto en I+D, que a su vez tiene un impacto positivo en el crecimiento económico de los países desarrollados, e indefinido para los países en desarrollo.

1.4 La información como fuente de innovación en la industria eoloelectrónica

Dentro de la aplicación de nuevas tecnologías en el sector eléctrico es importante mantenerse bien informado, por tal motivo la VT en el presente estudio adquiere relevancia como una herramienta que ayudará a definir las tendencias, innovaciones e impactos en algunos países avanzados como E.U., Alemania y España y en otro no desarrollado como México. Es necesario comprender varios autores que han escrito de la importancia de la VT como Callon, Courtial y Penan (1993) citado en Escorsa et al. (2006) y Escorsa et al. (2001), definen el objetivo principal de la VT como: “proporcionar buena información a la persona idónea en el momento adecuado”, esto va dirigido principalmente para los tomadores de decisiones ya sea de un país o de una empresa, para el presente estudio encaminadas a instituciones involucradas en el sector eléctrico, empresas, centros de investigación y universidades. Para Porter citado en Escorsa et al. (2001), la VT va más allá del simple hecho de obtener información adecuada en el momento adecuado, para él existen cuatro ejes principales en los cuales se mueve la VT: vigilancia competitiva, comercial, tecnológica y del entorno. Por lo que para fines prácticos de este estudio y como una herramienta más para el análisis de la problemática de la industria eólica nos centraremos en la VT y del entorno, como lo describe el autor: se encarga de recopilar información de aquellas tecnologías nuevas lanzadas al mercado, capaces de innovar en productos o procesos, por otra parte la vigilancia del entorno que se encarga de obtener información del exterior en temas que pueden comprometer a la empresa u organizaciones como: política, sociología, medioambiente, normas, etc.

En el presente trabajo se realiza VT desde el punto de vista de la frontera del conocimiento, se analizan una serie de patentes entre los principales productores de tecnología eólica y se realiza un comparativo entre las naciones descritas en el capítulo II.

Diagrama 2. Parámetros que rigen la competencia en un sector (según Porter) y tipos de vigilancia asociados



Fuente: Escorsa et al. (2001:13)

Del diagrama 2, podemos observar la interacción entre los cuatro factores principales que Porter sugiere, en donde se lleva a cabo la competencia de un sector y que son importantes para clasificar la información y el tipo de vigilancia que se llevará a cabo, observando el diagrama 2, sobre su eje horizontal se encuentra la vigilancia comercial (clientes y proveedores), y verticalmente se encuentran la vigilancia competitiva (entrantes potenciales al mercado), la VT (inserción de nuevas tecnologías en productos y procesos) y la vigilancia del entorno (el medio exterior donde la empresa lleva a cabo sus actividades).

Por otra parte otros autores han referido un nuevo término a la VT denominándola inteligencia tecnológica, la cual ya no se encarga nada más de buscar la información si no que busca el procesamiento, asimilación y toma de decisiones con base en esa información, algunas definiciones se exponen a continuación:

Cuadro 1. Definiciones, de diferentes autores, de inteligencia tecnológica

Ashton y Klavans (1997)	Es la búsqueda, detección, análisis y comunicación... de informaciones orientadas a la toma de decisiones sobre oportunidades, amenazas, tendencias... en el ámbito de la ciencia y la tecnología que puedan afectar a la situación competitiva de la empresa.
Heiser (1994)	Consiste en el seguimiento o exploración y análisis estratégico del

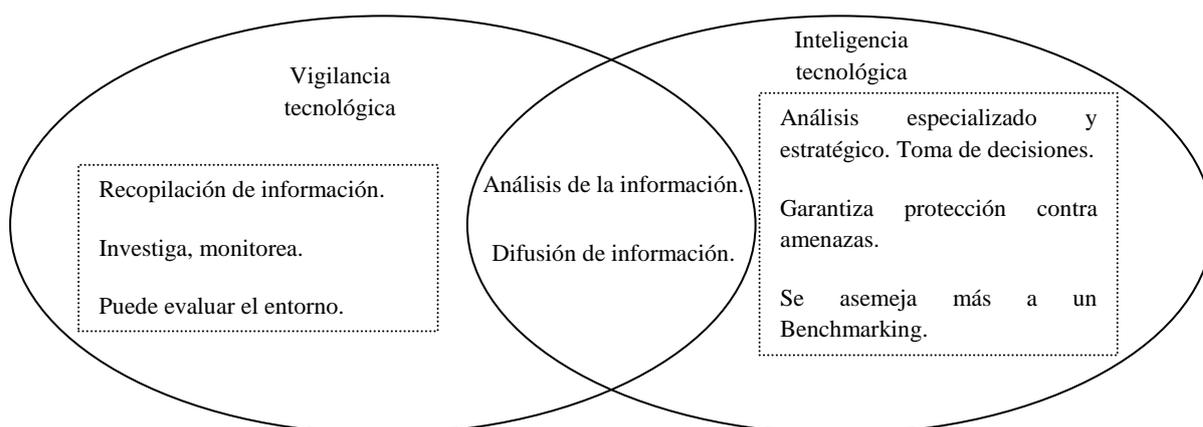
	progreso de la ciencia y la tecnología. Se trata de apoyar a las organizaciones en la gestión de la tecnología para tomar decisiones correctas en el tiempo apropiado.
--	--

Fuente: Escorsa et al. (2001).

Mientras que la VT se encarga de descubrir, investigar y difundir la información, la inteligencia tecnológica adquiere un papel más especializado que se enfoca principalmente en la difusión de información y toma de decisiones, organizacionalmente se puede estipular que esta actividad se da principalmente a niveles directivos.

Algunas convergencias y diferencias entre vigilancia tecnológica e inteligencia tecnológica se exponen en el diagrama 3.

Diagrama 3. Diferencias y similitudes entre vigilancia tecnológica e inteligencia tecnológica



Fuente: elaboración propia.

Para fines prácticos de este trabajo la VT se define como: aquella actividad que permite recopilar, investigar, monitorear, analizar, evaluar y difundir la información en sus diferentes ejes (según Porter) comercial, competitiva, tecnológica y del entorno brindando la información adecuada en el tiempo adecuado. Por otra parte la inteligencia tecnológica se

define como: aquella estrategia competitiva que permite a la empresa asegurar su futuro tecnológico por medio de la toma de decisiones en tiempo y forma adecuada.

Según Escorsa et al. (2006) las bases de datos, son un conjunto de textos, cifras y/o imágenes de tal manera que puedan ser manejados de forma ordenada y pueda ser recuperada, las bases de datos son una herramienta más en la VT dirigida principalmente a las bases de datos de las patentes, mismas que utilizan un sistema de clasificación que permite subdividir la información en unidades todavía más precisas según la CIP, esta clasificación consiste en un conjunto de símbolos que permiten seccionar la información. Cada sección se designa por una letra mayúscula de la A a la H, donde las prioritarias para este trabajo son: B (Técnicas industriales diversas; transportes), C (Química, metalurgia), E (Construcciones fijas), F (Mecánica), G (Física), H (Electricidad). La clase de esta formada por el símbolo de la sección seguido de un número de dos dígitos por ejemplo: H01 Elementos eléctricos básicos, que a su vez se puede subclasificar seguido por otro símbolo por ejemplo: H01 S que denota en su título el contenido lo más exactamente posible, esto es: H01 S Dispositivo que utiliza la emisión estimulada. Los grupos provienen de la subclase, que pueden ser jerarquizados directamente de la clasificación o de la subclasificación. Por ejemplo: H01 S 3/00 el título del grupo principal se refiere a la clasificación de un Laser, por otra parte si la terminación 3/00 cambiara a 3/14 sería un Laser caracterizado por el material usado como medio activo, de esta manera el sistema de la CIP, ha homogenizado hasta cierto punto la búsqueda de patentes de las naciones y del mundo, salvo algunos casos excepcionales como el caso de Japón o China que cuentan con su propio sistema de clasificación de patentes.

Según el manual COTEC (2008), indica que las patentes constituyen una medición objetiva de la I+D, para una empresa o región, dado que las oficinas regionales conceden y examinan cada patente solicitada y otorgada, por lo que su bases de datos incluyen una amplia información tecnológica que se encuentra bien estructurada y clasificada. Una patente puede representar las expectativas de utilidad y comerciabilidad del invento, la investigación empírica a demostrado que el estudio de patentes indican cual es el siguiente salto tecnológico en el mercado. Esto nos da la pauta para pensar en lo importante que es el análisis de patentes para este trabajo, ya que partiendo de la premisa anterior podemos tener una visión general de cuál puede ser el siguiente cambio tecnológico en la industria de la eoloelectricidad.

Según el COTEC (2008), el objetivo del benchmarking es: una herramienta que ayude a identificar las mejores prácticas, que lleven a mejores resultados de aquellos que las utilizan,

con el objetivo de superarlos y mejorar el propio funcionamiento. Consiste en realizar una comparación con los mejores en productos, procesos y/o servicios, estableciendo metas ambiciosas pero alcanzables que permitan el mejorar la manera de hacer las cosas, el benchmarking es un proceso repetitivo por el cual establece mejores prácticas, comparaciones sistemáticas de los procesos dentro y fuera de las empresas o del sector.

El comparativo realizado en el presente trabajo se enfoca en un comparativo sectorial que engloba en términos generales la problemática por la que atraviesa la industria eólica, principalmente para los países desarrollados como E.U., España, y Alemania, analizando bases de patentes en donde se enfoca la búsqueda en áreas principales de patentamiento como se describe en el capítulo II.

Los beneficios que acarrea la realización de un benchmarking son: confianza, ya que las empresas o el sector pueden observar cambios cuantificables y alcanzables. Una ventaja más de aplicar un benchmarking sectorial es que se establecen redes que permiten el intercambio de conocimiento.

Cabe mencionar algunas reglas para una mejor realización de benchmarking sectorial, estas son: se debe comparar variables a fines entre el sector, obtener datos del propio sector comparándolos objetivamente, evitar el gasto de recopilación de datos inútiles que no tienen que ver con el objetivo de la comparación.

1.5 Mecanismos para implementar e impulsar la innovación de la energía eólica en las naciones

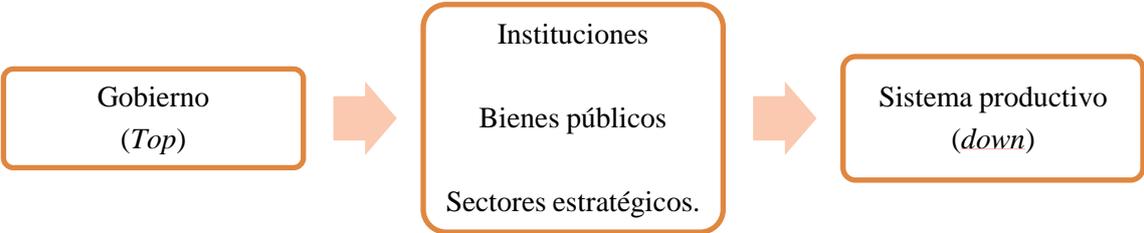
Se han realizado varios trabajos acerca de la importancia, el impacto y la implementación que tiene la innovación en la industria de la energía eólica dentro de los países desarrollados, es el caso de Hoogwijk et al. (2006), quienes analizan a varios países pertenecientes a la OCDE en Europa y a E.U. Su propósito fue realizar un estudio sobre los costos de producción y transmisión de energía eléctrica con base en la intermitencia de una fuente alternativa, para su estudio se tomaron la energía eólica y fotovoltaica, en donde se realizó un ejercicio de sustitución de producción de energía generada por combustible fósil a una solar o proveniente del viento, revelando que el impacto en los costos no recaen en los adelantos o innovaciones que se lleven a cabo para la construcción, desarrollo de nuevos materiales o de nuevas formas

de operación, sino más bien los costos se verán reducidos severamente cuando se encuentren nuevas formas de almacenar la energía. El ahorro en combustibles fósiles es evidente con la implementación de nuevas tecnologías para la generación de energía eléctrica, se estima que para el 2010 E.U absorba un 2% y los países de Europa pertenecientes a la OCDE un 7% del total de la producción de energía eléctrica producida por fuentes no renovables, también para el mismo año dichos países, tendrán ahorros hasta por 33 y 18 dólares respectivamente, por tonelada de CO₂ no emitidas. Cabe preguntar ¿Como éstos países han logrado tal avance y lograrán en el largo plazo sus objetivos?, un factor crucial que se puede observar en los países desarrollados son las sinergias que existen entre las organizaciones, instituciones, grupos financieros, universidades y centros de investigación, lo que les ha dado buenos resultados para el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías. Hablando en específico la creación de redes y de sistemas de innovación como incubadoras de la innovación, es lo que les ha permitido crear las esferas y ambientes propicios para lograr avances gigantescos en el desarrollo de la energía eólica, como lo describe Cimoli et al (2005), existen diferentes tipos de redes en los que los agentes involucrados se ven beneficiados siempre y cuando la tendencia sea a adquirir nuevos mercados mundiales. Aspecto que en los países desarrollados han obtenido gran ventaja sobre los países en desarrollo.

España, Alemania, E.U., Dinamarca, Taiwán, India, Suecia, Nueva Zelanda, son algunos países que han mantenido en los últimos veinte años avances significativos en la innovación de la energía eólica. Para el caso de China es un punto intermedio en el que no se le ha considerado a pesar de todas las capacidades tecnológicas que está generando, un país sobresaliente en el tema, sin embargo, como menciona Jianzhong et al. (2009), la implementación de la energía eólica en China ha cobrado relevancia, y es que en los últimos ocho años su capacidad instalada de generación de energía eléctrica con energía eólica, creció en más de tres mil por ciento. El mercado y la implementación de políticas públicas (concesiones) han jugado un papel crucial para el desarrollo de la energía eólica. El gobierno ha establecido rangos para dichas concesiones en los que proyectos menores de 50 MW pueden ser aprobados por el gobierno local mientras que proyectos mayores a 50 MW deben pasar por la Comisión de Desarrollo y Reforma. El gobierno chino le ha dado prioridad a la I+D de tecnologías (energía eólica) aplicables dentro de su territorio (o sus tierras), pues cuentan con altas densidades de viento, enfocándose principalmente en nuevos materiales para la resistencia de fenómenos naturales tales como: huracanes, tifones, frío y calor

extremo, así como los efectos de la radiación solar, generadores con mayor capacidad y eficiencia, aspas y rotores más silenciosos, y el estudio de políticas energéticas que permitan a la industria un desarrollo simultaneo. Los planes con los que cuenta el gobierno chino son para los siguientes diez años, en los que desean adquirir derechos de propiedad intelectual en la rama, un sistema industrial, técnicas de diseños sistematizados, técnicas de manufactura y de evaluación, sistema de innovación y de servicio que pueda ser competitivo a nivel internacional, así como establecer y desarrollar la cadena productiva de la industria eoloeléctrica. Sin embargo, estos buenos o malos resultados están acompañados de trayectorias políticas y tecnológicas que según Cimoli citado en Valenti (2008) a finales de los años cincuenta en América Latina se implementaron, permitiendo la creación y administración de organismos estatales, que tenían como función principal la difusión y producción de conocimiento científico y tecnológico básico y aplicado. Así surgen también los consejos nacionales de ciencia y tecnología, que tenían como fin el crear instituciones y universidades, que tienen como propósito la elaboración de proyectos de investigación. En América Latina se dan dos patrones de políticas tecnológicas lineales: 1) *top-down* oferta selectiva y 2) *top-down* lineal de demanda, como se indica en el diagrama 4.

Diagrama 4. Políticas lineales. *Top-down* oferta selectiva



Políticas lineales. *Top-down* lineal de demanda.



Fuente: Cimoli citado en Valenti (2008).

En la primera figura del diagrama 4 (*Top-down* oferta selectiva) el principal promotor del conocimiento en ciencia y tecnología es el gobierno siguiendo un esquema de *technology push*, pasando por las instituciones, bienes públicos y sectores estratégicos hasta llegar al sector productivo o a las empresas, en México se puede observar este tipo de esquema en el que el gobierno hace esfuerzos exuberantes por impulsar la ciencia, tecnología e innovación, en el sector eléctrico, en específico de la energía eólica, sin obtener grandes resultados, como se observa en la discusión del capítulo III. En la segunda figura del diagrama 4 (*Top-down* lineal de demanda), también es el gobierno quien promueve el conocimiento en ciencia y tecnología pero a diferencia del primero, existe una retroalimentación por parte del sector productivo, esto quiere decir, que existe una mayor interacción entre los sectores productivos, las instituciones y el gobierno, se sigue un modelo de *deman pull*.

Entonces a pesar de que en la actualidad existe un mecanismo por el cual el gobierno es el encargado de llevar la tecnología e innovaciones de la energía eólica al mercado, la intención es cambiar dicho esquema y llevarlo más al lado de la demanda, por lo que nos enfocaremos más en el segundo modelo, mecanismo que se ha implementado no sólo en América Latina sino también a nivel mundial, con buenos resultados en términos de ciencia, tecnología e innovación. Como es el caso de Brasil que a pesar de no estar desarrollando capacidades tecnológicas en temas como energía eólica, está desarrollando capacidades en otras áreas como la industria petroquímica, gracias a (entre otros factores) políticas tecnológicas implementadas con base en un modelo lineal de demanda. Según Pacheco (2003) citado en Valenti (2008) las leyes de los últimos años que se han diseñado en Brasil han sido dirigidas al financiamiento de las actividades de ciencia y tecnología, a partir de proyectos de largo plazo y en sectores estratégicos. Sin embargo, para el caso mexicano se debe contemplar el papel que juegan los usuarios y los suministradores como promotores de la innovación, siendo estrictos en el sector eléctrico, en la generación de la energía eólica. Según von Hippel (2004), los suministradores y usuarios son de suma importancia en la generación de innovación ya que sus conocimientos técnicos (por el lado de los suministradores) y sus necesidades (por el lado del usuario), permiten hacer modificaciones directamente ya sea al producto, proceso o servicio, con ventajas y desventajas como se puede observar en la discusión del capítulo II, ya que en ocasiones al innovar no necesariamente se desee ahorrar dinero o gastos, por otra parte se desea conocer nuevas aplicaciones de materiales, funciones, diseños o formas de producción que implica aumentar la inversión . Pero ¿Que sucede cuando suministradores y/o

usuarios no existen o existen en una pequeña porción? como se discute en el capítulo III, los mecanismos para generar innovación se ven estancados y por ende no existe una generación de innovación en la industria eólica.

La procedencia de los fondos de financiamiento es otro mecanismo y tema importante que en América Latina y en especial en México, se ha venido discutiendo por políticos, empresarios y académicos para sustentar las actividades científicas, tecnológicas y de innovación.

Para Cimoli citado en Valenti (2008) existen dos tipos de fondos, que predominan en América Latina, descritos en el cuadro 2.

Cuadro 2. Fondos de apoyo a la ciencia y tecnología en América Latina

Tipo de fondo	Características	Debilidades
Subsidio a la demanda	<ol style="list-style-type: none"> 1) Recursos públicos (presupuesto) y de organismos internacionales. 2) Horizontalidad. 3) Se asigna por concurso y evaluación. 4) Asignación directa de los beneficiarios. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Contribuye a aumentar la heterogeneidad. 2) Beneficia a los agentes más proactivos y con mayor capacidad tecnológica, excluyendo a los más débiles.
Oferta y coordinación	<ol style="list-style-type: none"> 1) Recurso provenientes de los sectores productivos con mayor renta. 2) Se asignan con base en estrategia (comunidad científica, empresarios, ministerios). 3) Selectividad sectorial. 4) Coordinación universidad-empresa. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Complejidad en la coordinación y superposición de intereses entres ministerios. 2) Se producen conflictos en la gestión dado el elevado monto de los financiamientos.

Fuente: Cimoli citado en Valenti (2008:69).

A pesar de que para el caso de México se puede observar la procedencia de los fondos como una combinación de ambos poco coordinada, para fines prácticos nos centraremos más en el tipo de oferta y coordinación, según Cimoli citado en Valenti (2008) el caso de México se encuentra ubicado en este último, y que para países como Brasil la complejidad del sistema de fondos dirigidos a este tipo de actividades es uno o sino el más complejo que se puede tener,

con esta estructura, su lógica va en el sentido que se crean fondos sectoriales, considerados estratégicos, cuyos recursos son procedentes de las mismas empresas que conforman el sector, este tipo de recurso es complejo pero considera la interacción de diversos actores. Sus fondos tienen como eje principal tres factores importantes:

- 1) Se estimula la interacción entre oferta y demanda.
- 2) Se fomenta la creación de redes.
- 3) Fomento al subsidio de infraestructura, para la modernización tecnológica en universidades y centros de investigación.

Para el caso de México se observa que el modelo de subsidio a la demanda y acciones como incentivos fiscales, son consideradas resultados de acciones subóptimas de políticas tecnológicas, con poco valor para la actividad científica, tecnológica y de innovación.

Según Villavicencio citado en Valenti (2008), a finales de la década de los setenta a través del periodo de desarrollo de políticas industriales y tecnológicas en México se observa un marco regulatorio en el que factores como: la tecnología, la innovación y la dinámica global-regional son un papel fundamental para el desarrollo económico de las empresas y del país, se trataron de realizar inversiones con capital nacional y extranjero, surgieron otros mecanismos de protección para sectores estratégicos, y de transferencia tecnológica, sin embargo dichos mecanismos no fueron suficientes para el desarrollo de capacidades tecnológicas y de innovación en dichos sectores estratégicos como lo es el eléctrico. Se dieron incentivos y preferencias a los proyectos de corto alcance y de corto plazo, generando empleos inmediatos pero sin detonar las capacidades tecnológicas y de innovación de los sectores productivos. Por otro lado las instituciones de nivel superior aportaron poco conocimiento y se reducía a investigaciones individuales que poco tenían que ver con las necesidades de los sectores estratégicos, se encaminaron pocos recursos (tanto del gobierno, como de las empresas), dejando al descubierto que para la última década del año dos mil la estrategia del gobierno mexicano sigue el mismo patrón al obtener empleos a corto plazo, mal remunerados y con poco valor en la generación de conocimiento, aunado a la poca infraestructura pública para la inversión en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías e innovaciones. La crisis de los energéticos deja ver en claro la urgencia de la necesidad por invertir en este sector para satisfacer la demanda presente y futura que año con año sigue en aumento.

Según el CONACYT (2009), ha desarrollado tres fondos en el sector energético:

- 1) Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética.
- 2) Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Hidrocarburos.
- 3) Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energía.

De los cuales el Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética, es el único que demanda investigación y desarrollo en el área de energía eólica, adjudicados para 2009 al Instituto de Investigaciones Eléctricas, que en perspectiva nos permite vislumbrar la escasa demanda por parte, en primer lugar del CONACYT en términos de I+D en el área, y en segundo lugar la poca participación de la iniciativa pública y privada para la adquisición de dichos fondos, así como en ofertar la I+D de tecnología eólica.

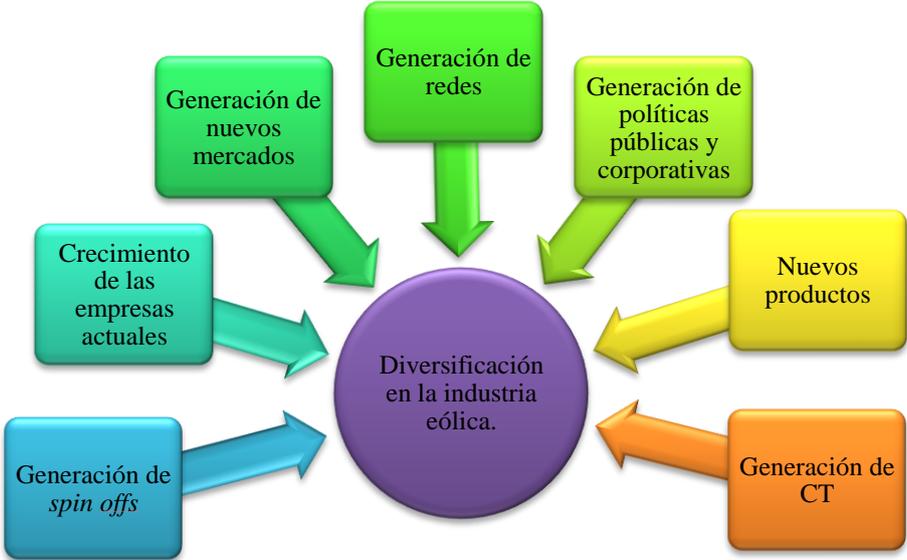
1.6 Diversificación en la industria eoloeléctrica

La tecnología eólica se diferencia de las demás tecnologías de la industria eléctrica por mantener elementos complejos (tecnología de vanguardia) que permiten la elaboración y producción de un aerogenerador, su cadena productiva es compleja, bien diferenciada y con alta diversificación. Pero ¿Qué es la diversificación?, existen varios estudios en los que definen lo que es diversificación, al igual que la innovación este se puede dar en el proceso productivo, en el producto, en las organizaciones, sin embargo para el presente trabajo el término diversificación lo tomaremos desde el punto de vista de producto, tan importante como la innovación en la industria eoloeléctrica que mantiene un status preponderante para comprender y analizar la industria eoloeléctrica en lo general en las regiones de E.U, Alemania y España como se describe en el capítulo II y en lo particular en México como se describe en el capítulo III.

La diversificación según Penrose (2009), es o constituye una forma diversa de hacer las cosas y obtener a su vez diversos productos, la diversificación dentro de las empresas puede ser un detonante para el crecimiento y desenvolvimiento de la misma empresa permitiendo a su vez alcanzar atmósferas propicias para la innovación, que dentro de la teoría de Schumpeter hace mención a la destrucción creadora, que desde su punto de vista afirma, se puede dar más fácilmente en aquellas pequeñas empresas carentes de adaptación y creatividad que en aquellos corporativos bien establecidos con instrumentos y formas de crear atmósferas propicias para la innovación, la diversificación desde este punto de vista permitiría a las empresas involucradas en la industria eólica crear y generar mayores productos y *spin offs*.

Para la industria eólica es imprescindible que exista una diversificación de productos y componentes que comprenden el complejo sistema del aerogenerador de esta manera, se crean a su vez nuevamente nuevas trayectorias tecnológicas. Como se describe en el capítulo II en las principales potencias E.U, Alemania y España, mantienen índices de diversificación dentro de sus cadenas productivas en ramas como nuevos modelos, métodos de producción, instalación, accesorios y materiales. Pero cabe hacer la pregunta ¿Qué pasa en México?, la diversificación de la industria eólica en México carece de sentido, según Penrose (2009) un factor para que pueda existir la diversificación en principio es: el mercado, una necesidad, la misma cadena productiva, factores que comienzan sutilmente a surgir en el ámbito nacional, la diversificación permite a las empresas especializarse, incrementar sus productos y “áreas básicas”.

Diagrama 5. Diversificación en la industria eólica



Fuente: Elaboración propia.

De la figura anterior se representan las principales líneas en las que la diversificación de la industria eólica conlleva, en su conjunto nuevamente este fenómeno se puede observar en mercados con un grado de desarrollo avanzado como los estudiados en el capítulo II, por otra parte en el capítulo III para el caso mexicano se observa que el diagrama queda incompleto destacando entre otras cosas, su recurso humano especializado.

Definir la diversificación dentro del sector productivo es más complicado de lo que parece Penrose (2009) hace una analogía con la industria del zapato, en la que hace mención que una empresa sin diversificar puede considerarse como aquella que hace zapatos en diferentes colores pero aquella empresa que hace zapatos para toda clase de edades, sexo, colores y tamaños, es considerada significativamente diversificadas. Para la industria eólica pasa algo similar, para el caso de E.U, Alemania y España son naciones bien diversificadas en métodos de producción, instalación, nuevos modelos, accesorios y materiales, mientras que en México se comienza a construir el punto medular, la industria eólica.

Cabe resalta del diagrama 5, el apartado de la especialización de RH, la formación de recursos humanos de calidad es indispensable para el desarrollo y fomento de la ciencia, tecnología e innovación, en el sector eléctrico según Villa (2008) citado en Valenti (2008), la vida académica de un país son elementos importantes para impulsar el avance económico, social y tecnológico, o como lo define la OCDE: “la investigación es hoy la fuente crucial para la competencia efectiva, el desarrollo económico y la transformación de la sociedad” (Valenti 2008:247). Esto es, si se desea impulsar el sector eléctrico y en particular la energía eólica es necesario la capacitación de RH en las áreas que así lo demanda la tecnología y que generan mayor valor agregado al sector.

Identificando algunas demandas en general y en particular en áreas de ingeniería, se mencionan algunos aspectos importantes que en años venideros la nación necesitará para el desarrollo y adopción de tecnología eólica en el sector eléctrico:

- 1) Evolución y adaptación para asimilar los cambios en ciencia y tecnología, así como el impacto que tiene en el sector eléctrico y la sociedad.
- 2) Desarrollar capacidades y conocimientos que vallan más allá de las aulas de estudio.
- 3) Desarrollar las capacidades necesarias para propiciar la generación y aplicación de nuevo conocimiento.
- 4) Desarrollar la creatividad, la innovación y nuevos conocimientos.

En el sexenio Foxista (2000-2006) se impulsaron políticas que fomentaban el fortalecimiento de la educación en el país pero su crecimiento en promedio fue alrededor del 2.3 por ciento anual, lejos de lo que se puede esperar para un país que pertenece a la OCDE, ascendiendo del lugar 56 al 53 del total de los integrantes para el 2006. La insuficiente inversión en educación, ciencia y tecnología, y la poca articulación entre los integrantes de la esfera de innovación

(sectores productivos-instituciones-fuentes de financiamiento-gobierno), no permiten la creación de sinergias entre los actores, y con ello no permiten el desarrollo de ambientes propicios para la innovación en el sector eléctrico, por lo que como estrategia es importante lograr una mayor vinculación con el sector eléctrico que fortalezca la competitividad y la capacidad de innovación, mediante programas de I+D así como de la utilización y transferencia de sus resultados (TT), contribuyendo al desarrollo de capacidades tecnológicas dentro del sector, como se describe en el siguiente apartado.

1.7 Capacidades tecnológicas (CT) en la industria de la energía eólica

Para comprender la problemática de innovación la industria eólica en México se debe comprender lo que ha sucedido en el pasado y el porqué del rezago tecnológico, de innovación de CT y como se menciona en el apartado anterior de la diversificación de la industria eólica, según Katz citado en Kim et al. (2000), durante el periodo de ISI, en Latinoamérica se da un aprendizaje de dinámicas que permitieron desarrollar hasta cierto punto capacidades tecnológicas, principalmente en Argentina, Brasil y México. A nivel micro las medianas y pequeñas empresas, contaban con infraestructura poco sofisticada a comparación de países industrializados, comenzaron a copiar y realizar ingeniería inversa de innovaciones que diez o hasta veinte años atrás eran la frontera de la tecnología en aquellos países desarrollados, hablando en términos del sector eléctrico y en particular de la industria eólica se dan avances que a la par de los países desarrollados como se menciona anteriormente se consideran en la frontera del conocimiento, sin embargo los *spin-off* que se generaron eran empresas que contaban con: mala calidad, poco esfuerzo en el aprendizaje, y manejo de nuevas tecnologías, además en la entrada en nuevos mercados fue poco alentador ya que las empresas en países desarrollados contaban en su mayoría con mercados internacionales, que a su vez generaron redes de conocimiento entre Europa y E.U., entre centros de investigación, universidades, empresas y gobiernos para la I+D de artefactos de valor agregado para el sector. En América Latina Cimoli et al. (2005) explica el fenómeno de las redes bajo la estructura de los mercados, esto es las empresas compiten en la capacidad de capturar las interrelaciones tecnológicas, crear economías de escala en la producción e incorporar el aprendizaje colectivo logrado a través de la interacción y distribución de conocimientos, aspectos importantes que en el sector eléctrico nacional y de América Latina

no ha sucedido pero que en México se empieza a proyectar como es el “Plan de acción para eliminar barreras para la implantación comercial de la generación eoloelectrica en México”.

No es en vano que países como E.U., España, Alemania, Dinamarca, Holanda tengan los índices más altos de generación de energía eléctrica con energía eólica, debido a este concepto de intercambio de conocimiento y de tecnología, permitiendo a las naciones abordar los problemas en común desde diferentes perspectivas, y con las mejores soluciones.

Según Cimoli et al. (2005) existen varios factores y mecanismos que explican la participación en una red, así como también la capacidad de capturar las externalidades:

- 1) Interrelación tecnológica y complementariedad. Se refiere al encadenamiento relacionado con el diseño de productos y procesos que prevalecen entre los miembros de cada red.
- 2) Aprendizaje colectivo a través de la interacción y la distribución. Entre mayor sea la interacción y transmisión de conocimiento y experiencia que exista entre los agentes, mayor será el aprendizaje de las empresas.
- 3) Economías de escala en la producción. El aumento de la producción permite la disminución de los costos medios y de los de participación en la red.

Los distritos industriales son un esquema más de cómo se puede dar el aprendizaje tecnológico y a su vez esquemas para costos más competitivos, esta visión se refiere claramente a empresas que no compiten en forma aislada, como son estas empresas de eoloelectricidad, sino que están integradas a una red conformada a su vez por otras empresas e instituciones. Para que pueda existir un distrito productivo deben existir externalidades positivas y un detonante social que promueva la interacción entre las partes, y como se menciona anteriormente la industria eoloelectrica es un detonante tecnológico, económico y social.

Según Katz citado en Kim et al. (2000), lo que se ha manejado para los últimos años en las principales economías de América Latina, son subcontrataciones en sectores públicos que han desarrollado sus propias capacidades tecnológicas en áreas de I+D e ingeniería para mejorar

la producción y la calidad. Como resultado se ha dado un detonante en una atmósfera social y económica, que ha permitido el aprendizaje continuo, pero que aún recae en la mayoría de las veces en un aprendizaje básico con poca CT.

Por último en el cuadro 3, se hace referencia a las CT que son descritas por Bell y Pavitt en las que utilizan un método de clasificar las mismas, el recuadro en sus niveles más básicos describe capacidades en los que en términos del sector eléctrico utilizan técnicas de producción existentes, delimitando en mucho la necesidad de innovar se ven más bien enfocados a comercializar los productos con un bajo impacto dentro y fuera de la empresa y de los sectores productivos. En un nivel intermedio las organizaciones y los sectores productivos comienzan a tomar decisiones y contabilizan riesgos. Aun mas en un nivel avanzado es el medio en el cual las organizaciones y sectores productivos incentivan la innovación y desarrollan en plenitud nuevo conocimiento, tecnología y mayor relación entre organización, cliente, proveedores.

Para el presente análisis las CT descritas en el cuadro 3, bajo el esquema de la industria eólica en México se posicionan en un nivel básico.

Dentro de las actividades primarias existen inversiones como se describe en el capítulo III, en el que la toma de decisiones, producción y capacidades para usar técnicas de producción existentes se logran cubrir, esto es dentro de los mismos parques eólicos (pertenecientes a particulares) existen estas condiciones. Existen nuevos proyectos en la región de Oaxaca y Baja California que se esperan implementar en los próximos años, sin embargo por un lado todavía no podemos hablar de una industria eólica nacional por lo que el desarrollo de vínculos carece de sentido, y por el otro la industria eólica existente perteneciente a empresas extranjeras cuentan ya con vínculos y redes bien establecidas. Si se desea cubrir el primer nivel de CT en la industria eólica nacional, se debe comenzar por el aprendizaje tecnológico, la mejora incremental, realizar ingeniería inversa.

Cuadro 3. Capacidades Tecnológicas

	Actividades primarias				Actividades soporte	
	Inversión		Producción		Desarrollo de vínculos	Suministro de bienes de capital.
	Facilidad de toma de decisiones y control de usuario.	Preparación e implementación de proyectos.	Procesos y organización de la producción.	Centrado en el producto.		
Capacidades de producción básicas. Capacidades para usar técnicas de producción existentes.	Simple contratista comprometido. Seguridad y desembolso financiero. Oficiar en ceremonia abierta.	Preparación del esquema inicial del proyecto. Construcción de trabajos civiles básicos. Construcción simple de planta.	Operación rutinaria y mantenimiento básico de instalaciones y equipo establecidos mejora de la eficiencia a partir de tareas existentes.	Replica de especificaciones y diseños establecidos. Definición de mecanismos de control de calidad para mantener estándares existentes y especificaciones.	Obtención de insumos (materiales) disponibles de proveedores existentes. Venta de productos determinados a clientes existentes y nuevos.	Replica de objetos de iguales de plantas y máquinas.
CAPACIDADES TECNOLÓGICAS (PARA GENERAR CAMBIO TÉCNICO)						
BÁSICAS	Monitoreo y control activo de: estudios de fiabilidad, fuentes y elección de la tecnología y planeación de proyectos.	Estudios de factibilidad. Planeación del esquema. Obtención del equipo estándar. Ingeniería auxiliar simple.	Comisionar (poner servicio) y depurar. Diseño, programación y mantenimiento mejorados. Adaptación menor	Adaptación menor a las necesidades de mercado y mejora incremental en calidad del producto.	Buscar y absorber información nueva de proveedores, clientes e instituciones locales.	Copiar nuevos tipos de plantas y maquinaria. Adaptación simple de diseños existentes y especificaciones.
INTERMEDIAS	Busqueda evaluación y selección de tecnología/fuente. Propones (oferta)/negociación. Gestión del proyecto completo.	Ingeniería detallada. Obtención de planta. Evaluación del ambiente. Planeación y gestión del proyecto. Comisionar (poner en servicio). Capacitación y reclutamiento.	Mejora de proceso. Licenciamiento de nueva tecnología. Introducción de cambios organizacionales.	Licenciamiento de nueva tecnología y/o ingeniería inversa. Novedad incremental del diseño de producto.	Transferir tecnología a proveedores y clientes para alcanzar eficiencia y fuentes locales.	Ingeniería inversa innovativa incremental y diseño original de planta y maquinaria.

AVANZADAS	Desarrollo de sistemas de producción y componentes nuevos.	Diseño de proceso básico e I+D relacionadas.	Innovación de proceso e I+D relacionada. Innovación radical en organización.	Innovación de producto e I+D relacionada.	Colaboración en desarrollo de tecnología.	I+D para especificaciones y diseños de plantas y maquinaria nueva.
------------------	--	--	--	---	---	--

Fuente: Bell y Pavitt (1995).

Capítulo II. Experiencias internacionales de innovación en la industria de la energía eólica

2.1 Estado actual de la tecnología

Para fines de este estudio se analizarán algunos aspectos importantes de la energía eólica como: capacidad de producción, tendencias e innovaciones, tomando como punto de partida tres países desarrollados: E.U., Alemania y España que son los que han realizado la mayor cantidad de I+D en la materia. Las bases de patentes se remiten respectivamente a la USPTO y esp@cenet mientras que para el caso de México la base de patentes que se utiliza es el IMPI. Se han tomado los primeros tres países debido a que los resultados de los estudios realizados en temas de I+D en energía eólica han demostrado que son países líderes en innovación tecnológica de energía eólica, resultados que a su vez han servido de base de discusión para el presente capítulo, sin embargo se hace alusión también a otros países europeos, no solo por su aporte tecnológico que han logrado si no por la utilización de mecanismos innovadores propicios para impulsar la generación de energía eléctrica con eólica.

Según Berry (2009), la capacidad de generación de energía eléctrica con base en la energía eólica se ha incrementado de “2500 MW en 1999 a 21000 MW a mediados del 2008 y alrededor de 28000 MW para 2009” (AWEA 2009 citado en Berry 2009:1), este incremento se debe a las innovaciones realizadas en las turbinas de viento, sin embargo aún cuando los costos de los proyectos eólicos han bajado hasta principios de 2000, para los próximos años los precios se han ligeramente incrementado (Lemming 2007; Wiser y Bolinger 2008 citado en Berry 2009) que también es debido a las innovaciones, aprendizaje y economías de escala sobre los precios de la energía eólica. Algunas empresas como *GE Energy* han desarrollado I+D en diversas áreas pero en la que más sobresale es en los elementos electrónicos que incrementan la estabilidad del sistema, esto es, la constancia del aire no es siempre la misma por lo que las bajas de voltaje e ineficiencia son una variable importante a considerar en este tipo de equipos, por lo que *GE Energy* ha desarrollado dispositivos que mantienen la estabilidad del voltaje, durante los altibajos que el clima y viento brindan.

La forma en que se clasificará la búsqueda será:

- i) Métodos de producción: en general se refiere a nuevas formas de construir las torres, hélices ó generadores, es decir que se haya llegado a un nuevo modo de producción por alguna innovación llevada a cabo en maquinaria o materiales.
- ii) Métodos de instalación: se refiere a la forma en que son levantadas las torres e instaladas las piezas del aerogenerador y hélices.
- iii) Materiales: se refiere al desarrollo de nuevos materiales para cualquier parte de la torre, aerogenerador o hélices.
- iv) Nuevos modelos: se refiere a aquellas modificaciones que se hayan realizado a los aerogeneradores existentes o que en su totalidad se hayan modificado.
- v) Accesorios: aquellas nuevas piezas que se crean para el mejor desempeño de los aerogeneradores.

Cabe señalar que la forma de clasificar la búsqueda es propia, las razones principales son los mecanismos expuestos dentro del marco teórico, factores que a su vez define von Hippel (2004) en términos de la importancia de usuarios y suministradores como promotores de la innovación. En los puntos anteriores trato de englobar una parte primordial para que el proceso productivo y de innovación se pueda llevar a cabo en la generación de energía eléctrica con energía eólica, de esta manera los métodos de producción, instalación, nuevos materiales, modelos y accesorios, son el eje principal que usuarios y suministradores utilizan para llegar a la innovación y que como se observa y se discute en el capítulo III son factores que en el caso de México, su mercado, instituciones y/o centros de investigación carecen de una estructura formal para generar innovación.

A continuación se analiza lo que se ha registrado como patente en E.U. en las diferentes ramas mencionadas anteriormente. Los datos obtenidos son de la base de datos de la USPTO.

Cuadro 4. Cantidad de patentes por rama en E.U

Métodos de producción	Métodos de instalación	Materiales	Nuevos modelos	Accesorios
3	5	5	10	8

Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos de USPTO (2009).

Lo que podemos deducir del cuadro 4, es que: la mayor I+D se lleva a cabo en áreas de: nuevos modelos, accesorios, materiales, y métodos de instalación, dejando a un lado los métodos de producción.

Para el caso de Alemania tenemos que: según la Asociación de Energía del Viento de Alemania, GWEA (2009) por sus siglas en inglés, indica que para el 2007 se han instalado un total de 19460 turbinas con una capacidad total de 22247 MW que sobrepasa en un 7% el consumo de energía eléctrica de Alemania. Ganando la industria cerca de seis billones de euros en 2007 en exportaciones. Y dando empleo a más de 100,000 personas. Se estima que la capacidad total de su parque eólico puede incrementarse para 2020 hasta los 55000 MW, esto cubre los parques dentro del mar *onshore* y fuera de este *offshore*, haciendo una comparación con E.U., en el estado de Texas se tienen un potencial estimado de 136000 MW y si a eso le sumamos los 138000 MW del potencial en el resto del país, E.U. tiene un potencial de 276000 MW por explotar, esto es E.U. cuenta con un potencial cinco veces mayor que el de Alemania por explotar en los próximos años.

Sin embargo en Alemania se han observado avances en materia de política lo que le ha facilitado el desarrollo de esta industria. En un futuro lo que Alemania espera es que se realicen las modificaciones adecuadas dentro de un marco legal para que continúen los proyectos y modernización de estos parques con turbinas por encima de los cien metros de altura y con un factor de capacidad de 35%, dentro de las tierras de Alemania y de 45% para sus costas. Con cincuenta y cinco modelos diferentes y 522 empresas, Alemania desarrolla en la actualidad turbinas eoloelectricas que van desde 0.3 MW y 33 metros de diámetro del

rotor, hasta la construcción de turbinas con una capacidad de 5 MW y un diámetro de 126 metros.

Para el caso de Alemania se analiza la base de patentes de esp@cenet lo que se obtuvo fueron los siguientes resultados que se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Cantidad de patentes por rama en Alemania

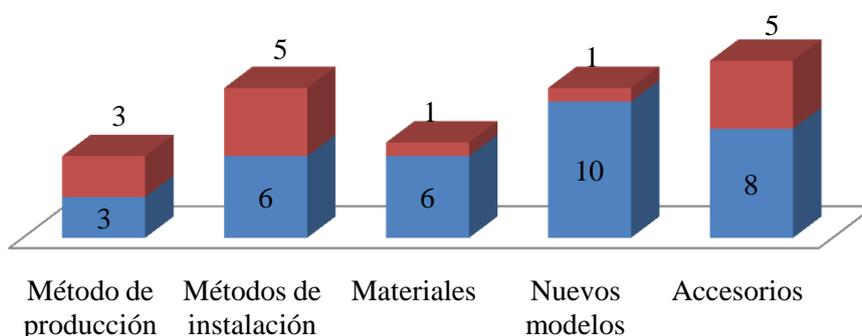
Métodos de producción	Métodos de instalación	Materiales	Nuevos modelos	Accesorios
3	5	1	1	5

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de esp@cenet (2009).

Lo que podemos deducir del cuadro anterior es que: la mayor parte de la I+D realizada en el campo de la energía eólica en Alemania está enfocada a los métodos de instalación y a la creación de nuevos accesorio, para un mejor desempeño. Seguido también por sus métodos de producción.

Haciendo una comparación de E.U. y Alemania entre sus patentes (gráfica 1) podemos decir que: a pesar de que los dos países se encuentran en la frontera del conocimiento en términos de la energía eólica, E.U. para el 2009 lleva una ligera ventaja sobre Alemania, en desarrollo tecnológico, los dos países cuentan con la misma cantidad de métodos de producción patentados, en cuanto a métodos de instalación son casi iguales, aunque cabe señalar que en E.U. existe una mayor variedad de climas y ecosistemas que le pudieran estar permitiendo desarrollar otros métodos de instalación de éstos aerogeneradores y plantas eoloeléctricas. En cuanto a los materiales nuevamente sobresale E.U., al igual que en los nuevos modelos, puede ser debido la diversidad existente de climas y ecosistemas que no existen en Alemania. Por el lado de los accesorios, más que nuevos, son nuevas adaptaciones y sistemas electrónicos que permiten la máxima eficiencia del equipo.

Gráfica 1. Cantidad de patentes hasta 2009 E.U. vs Alemania



- Cantidad de patentes hasta el 2009 en E.U.
- Cantidad de patentes hasta el 2009 en Alemania.

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de USPTO (2009) y esp@cenet (2009).

Según la Asociación Empresarial Eólica (AEE, 2009) de España la industria de la energía eólica ha creado alrededor de 40000 empleos para 2008, para ese mismo año la capacidad instalada era de 16740 MW, esto equivalía para ese año el 17.45% del total de la capacidad instalada de energía eléctrica en España, se estima que para 2010 se eleve a 20155 MW, equivalente al 21% y aún más para el 2040 desean que esta tecnología abarque alrededor de los 40000 MW una tendencia de acaparar el 40% de la capacidad instalada total de ese país, como se expone en el Plan de Energías Renovables 2005-2010. Por otra parte la AEE asegura que en España se desarrollan todas las actividades de la cadena de valor; promoción, fabricación y servicios. Con más de veinte compañías que promocionan, fabrican y dan servicios en ésta rama las tres principales son Iberdrola, ACCIONA y ECYR, según se ve en el cuadro 6.

Cuadro 6. Principales empresas que dan servicio y fabricación de plantas eololéctricas

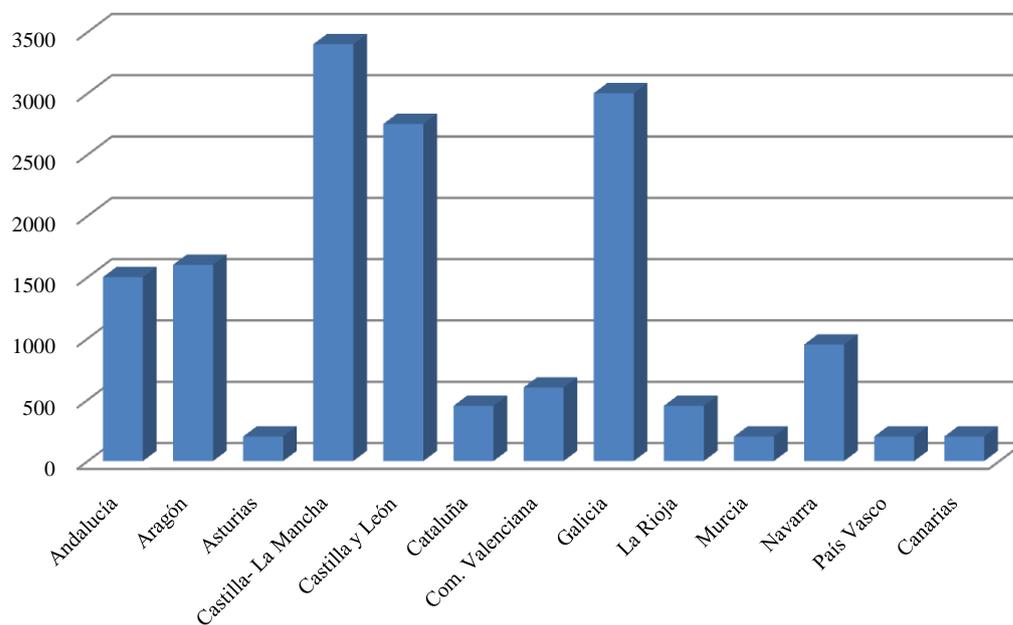
Empresa	Potencia total instalada (MW)	% total
IBERDROLA	4602.35	27.5
ACCIONA	2698.84	16.1
ECYR	1640.94	9.8

Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos de AEE (2009).

Y que para 2008 según la AEE (2009) han instalado alrededor de 1000 aerogeneradores a lo largo y ancho del territorio español con una capacidad instalada de 1600 MW aproximadamente.

En España existen trece regiones en donde el suministro de energía eléctrica en su totalidad se adquiere por medio de la energía eólica, como se muestra en la siguiente gráfica 2, en donde se puede observar que las comunidades que más generan energía eólica son: Castilla-La Mancha con 3400 MW, seguida por Galicia con 3000 MW y Castilla y León con 2750 MW instalados.

Gráfica 2. Generación de energía eólica por comunidades españolas para 2008



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de AEE (2009).

Haciendo el mismo ejercicio que en los países anteriores (E.U. y Alemania), se han analizado las patentes registradas en la base de patentes de esp@cenet, con el fin de conocer sus innovaciones y tendencias tecnológicas en las ramas mencionadas anteriormente. Como se muestra en el cuadro 7.

Cuadro7. Cantidad de patentes por rama en España

Métodos de instalación	Nuevos modelos	Accesorios
2	10	18

Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos de esp@cenet (2009).

A pesar de que España no cuenta con patentes en métodos de producción y nuevos materiales ha desarrollado innovaciones en nuevos modelos y accesorios que hacen del sistema que componen las plantas eoloelectricas más eficientes, con aproximadamente 30 patentes podemos decir que el 7% se enfocan a nuevos métodos de instalación; el 33% se basa en nuevos modelos y un 60% se basa en nuevas formas de hacer más eficientes el sistema de aerogeneración.

Ahora bien si se hace una comparación entre estas tres últimas naciones se observa que E.U. lleva una ligera ventaja sobre las demás debido a la cantidad de patentes involucradas en métodos de producción, instalación, materiales, nuevos modelos y accesorios. Sin embargo España sigue siendo un fuerte competidor para E.U. en áreas más específicas como nuevos modelos y accesorios manteniéndose por encima de E.U. con diez patentes.

Por último, para el caso de México se establece el mismo criterio que el de los países anteriores. La búsqueda se realizó en la base de patentes del IMPI y los resultados arrojados fueron: 25 patentes en total, una procede de Japón, una más de España, dos de E.U., y 23 patentes procedentes de Alemania. Cabe señalar que solamente una patente fue encontrada de investigadores mexicanos, la cual lleva por título: “Mejoras en molino de viento para el aprovechamiento de la energía eólica”, y data de 1988, IMPI (2009). Lo que nos permite visualizar qué tan atrasados, rezagados, y desde qué año en México no se ha podido adquirir una patente en las ramas de la energía eólica.

Cabe preguntarse ¿por qué es importante patentar en estas ramas?, nuevamente viene la cita de von Hippel (2004) y todo lo que involucra dentro y fuera del sector eléctrico el hecho de generar no sólo patentes si no también I+D de calidad con primordial importancia a generar innovación, innovación que le reditúa un bien económico, social, tecnológico y cultural para el país como se expone más adelante en el capítulo III. De esta forma el presente estudio de patentes desmiente la hipótesis de que instituciones como la UNAM, el IPN, el IIE, la UAM y empresas como CFE realicen grandes esfuerzos o inviertan fuertemente en I+D en áreas de energía eólica, que bien valdría la pena invertir para bienestar, fortalecimiento y crecimiento del sector eléctrico.

2.2 Fuentes primarias de generación de energía y tipos de plantas generadoras

A nivel mundial según la IEA (2009), por sus siglas en inglés, el suministro de energéticos medidos en millones de toneladas equivalentes al petróleo (Mtoe, por sus siglas en inglés) y consumo de energía eléctrica en TWh, se distribuye de la siguiente manera:

Cuadro 8. Distribución de energéticos a nivel mundial para 2006

Región	Suministro de energía (Mtoe)	Consumo de energía (TWh)
América del norte.	2340 a 2920	3760 a 4660
Latino América	660 a 1220	1060 a 1960
Europa	1780 a 2340	2860 a 3760
Asia	2340 a 2920	2860 a 3760
Rusia	1780 a 2340	1960 a 2860

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de IEA (2009).

Y sus principales fuentes de energía eléctrica son como lo muestra el cuadro 9:

Cuadro 9. Fuentes primarias de energía eléctrica por región

Región	Fuente principal de energía eléctrica	Fuente alterna de energía eléctrica.
América del norte.	Carbón, petróleo, gas, nuclear e hidroeléctrica.	Geotérmica, viento y solar.
Latino América		Viento
Europa	Carbón, gas, petróleo, nuclear, hidroeléctrica, viento.	Biomasa, desechos, geotérmica, solar.
Asia	Carbón, gas, petróleo, hidroeléctrica.	Nuclear, biomasa y viento.
Rusia	Carbón, petróleo, gas, nuclear, hidroeléctrica.	Viento, biomasa, geotérmica.

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de IEA (2009).

Lo que se obtiene del cuadro anterior es que la mayor producción de energía eléctrica en el mundo se genera a partir de cuatro fuentes primarias: carbón, petróleo, gas e hidroeléctrica. Y como fuentes secundarias tenemos al viento, biomasa y geotérmica.

Para que pueda haber un cambio tecnológico e innovación debe surgir una necesidad a nivel mundial, ésta necesidad surge y existe a partir de los altos precios de los hidrocarburos y mantenimiento de las mismas plantas productoras de los subproductos de los hidrocarburos y de las plantas hidroeléctricas, así como el alto impacto ecológico generado al recurrir a este tipo de tecnologías, por lo anterior es necesario innovar en la producción de energía eléctrica y en las nuevas fuentes de generación de energía eléctrica a nivel mundial.

Según Philippine et al. (2009) la crisis financiera y energética será la responsable de impulsar a la sociedad y en particular a los gobiernos del mundo a incentivar cada día más las nuevas tecnologías y crear modelos económicos y financieros más eficientes para el desarrollo de las nuevas tecnologías y del bienestar de las comunidades, por ejemplo: para el caso de E.U. su paquete de reconversión energética cuenta con 16.8 billones de dólares de inversión para mejorar la tecnología energética, incluyendo edificios inteligentes y medios de transportes más amigables con el medio ambiente, y que para el caso particular de la energía eólica y su gestión se están abordando programas como: “Programa Tecnológico Industrial” y “Programa Federal de la Gestión de la Energía” con fondos otorgados hasta por 132 millones de dólares en total. Por otra parte Corea está implementando un “Plan Verde de Crecimiento” en el que está destinando el 2 por ciento de su PIB, durante cinco años, al desarrollo denominado: eco-amigable. Son éstos tipos de iniciativas (entre muchas otras y de otros países como: Australia, Nueva Zelanda, Inglaterra, Francia) acompañadas de incentivos financieros, económicos y políticos, los que dejarán ver en el largo plazo un avance tecnológico y de innovación en la generación de energía eléctrica.

Como lo indica Nigel et al. (2009), la eficiencia energética también se llevará a cabo con la colaboración del gobierno de los países, el cual debe tender a la innovación y reformulación de leyes que permitan a las regiones diseñar programas más robustos, modificar los existentes y crear redes para el intercambio de experiencias en la generación de leyes de este tipo, destacando también la cooperación entre los diferentes niveles de gobierno que es una estrategia prioritaria para que la ejecución de dichas leyes se pueda llevar a cabo.

De esta forma las fuentes primarias y los tipos de generación de energía eléctrica podrán ir cambiando de fuentes secundarias a formar parte de las primarias y las primarias que en la actualidad se utilizan, bajarán su producción y con ello la contaminación que tanto preocupa hoy en día.

2.3 La generación de energía eólica en el mundo

Según la IEA (2009), la producción para 2006 que se tuvo en generación de energía eléctrica generada por el viento fue de: 130073 GWh. Teniendo la siguiente distribución, como se muestra en el cuadro 10.

Cuadro 10. Distribución (GWh) de energía eólica

Región	Energía eólica (GWh).
América del Norte.	29235
Latinoamérica	645
Europa	82641
Asia	8273
Rusia	177
Otros	9102

Fuente: elaboración propia con datos de IEA (2009).

Los países con mayor generación y aplicación de energía eléctrica con base en la energía eólica se puede observar claramente en la tabla 10, que son países de América del Norte y de Europa. El éxito que se ha tenido en especial en Europa es gracias a una serie de factores políticos y económicos como lo explica Till (2009), que analiza los proyectos que se llevaron a cabo entre 2000 y 2004 dentro de los mares europeos. Lo que se encuentra en éstos proyectos es una iniciativa en común: el impulso político que se les da. Las políticas manejadas principalmente por Dinamarca, Alemania y Bélgica, son de interés para el aprendizaje de naciones como México, debido a que manejan una estructura lineal de demanda en la que el sector eléctrico crea redes en conjunto con diferentes actores como la

academia, las empresas y la misma sociedad, que a su vez estos actores crean sus propias redes entre sí, generando los mecanismos propicios para la innovación. Por ejemplo, para el caso de Dinamarca toman a consideración varios aspectos:

- 1) Identifican o localizan el recurso (el viento).
- 2) Formulan y evalúan programas aptos para la generación de tecnologías y su aplicación.
- 3) Formulan y evalúan proyectos de inversión a largo plazo.
- 4) El proyecto se debe apegar a las normas técnicas y ambientales que rige la Unión Europea, ESEA.
- 5) La generación de tecnología es dentro de la región donde se implementará, generando nuevos empleos, y nuevas empresas.
- 6) El conocimiento y la tecnología se protege y se expande a otras naciones.

Estos puntos son importantes de mencionar ya que para el caso mexicano se están realizando algunos, sin embargo faltan por aplicar otros: como la formulación y evaluación de programas aptos para la generación de energía eólica, proyectos a largo plazo, desarrollo de normas técnicas exclusivas para la industria, generación de la tecnología dentro de las regiones donde se implementa según la SENER (2010).

Según Till (2009) el caso de Alemania es uno de los más exitosos en cuanto a generación de políticas energéticas, particularmente para la energía eólica, ellos se refieren a:

- 1) Identifican y cuantifican el potencial del recurso.
- 2) El desarrollo de proyectos tecnológicos de ésta magnitud recae en la jurisdicción de las autoridades locales.
- 3) La planeación de sus proyectos son a largo plazo (periodos de 30 años).
- 4) El gobierno sigue una estrategia del uso eficiente del recurso (viento), que se enfoca en el desarrollo masivo de nuevas tecnologías.
- 5) A pesar de que las tarifas eléctricas con este tipo de tecnología son elevadas, el gobierno se ha propuesto bajar sus tarifas a una tasa anual del 2 por ciento.
- 6) Y de la misma manera que Dinamarca se apegan a la reglamentación que el ESAE les demanda.

Por último para el caso belga, aún cuando su potencial de energía eólica dentro de los mares no se ha explotado al máximo, han encontrado una fuente de negocio nueva, ya que para la

actualidad, según especialistas de ese país el recurso eólico dentro del territorio está encontrando sus limitaciones, por lo que el gobierno ha optado por modificar sus leyes para darle prioridad a la explotación de sus vientos dentro de sus mares.

Para Till (2009) la industria eoloeléctrica se vale del lema “aprendiendo al hacer” y es de suma importancia que en el largo plazo se siga manteniendo, de esta manera se genera otra necesidad la I+D para derribar las fronteras técnicas que se generan al paso de su trayectoria tecnológica, es importante también manejar las economías de escala abatiendo los costos y tiempos de construcción, soportado por un buen marco regulatorio que de un beneficio para todos los agentes involucrados y reduzca los impactos o externalidades negativas.

La experiencia europea nos deja una gran lección al demostrar que la voluntad política y financiera de un país se concibe con el diálogo para llegar a un mismo punto en el que converja el desarrollo tecnológico, de innovación, de conocimiento y del bienestar de la sociedad.

La región de América del Norte es la segunda región que más produce energía eólica. Sin embargo se debe especificar que es el caso de E.U. quien ha desarrollado la mayor capacidad de generación y capacidades tecnológicas que los otros dos países que la conforman (Canadá y México). Algunas áreas potenciales de la energía eólica para el caso de E.U. son:

- i) Diseños avanzados de torres, más altas, nuevos materiales, nuevos métodos de instalación que hagan del proceso más sencillo.
- ii) Rotores más largos, con materiales más livianos, y mejoras aerodinámicas.
- iii) Cajas de velocidades más eficientes, generadores y electrónicos.

La I+D de nuevas turbinas y rotores ha traído consigo la generación de rotores y turbinas más largos, sin embargo para 1999 su capacidad de estas turbinas era de 1 MW que en promedio para 2006 en E.U., solamente el 11% obtuvo una capacidad de 1 MW o menos, el 70% estuvo alrededor de 1.25 y 1.8 MW y 19% obtuvieron 2 MW o más, según la AWEA (2009) citado en Berry (2009). “Con el cambio tecnológico, los problemas de operación o los altos costos pueden ocurrir” (de Vries 2007, 2008 citado en Berry 2009:2), y lo que podría ocurrir es que los problemas se trasladen en altos precios de generación.

Según la AWEA (2009), existen 29440 MW de capacidad instalada de generación de energía eólica en toda la región de E.U. y en construcción se tiene otros 5866 MW, siendo Texas el

estado con mayor capacidad alrededor de 8361 MW y en construcción 1096 MW más, que al término dará una capacidad instalada total alrededor de 9500 MW, aún cuando es el segundo estado que cuenta con potencial eoloeléctrico, se considera que tiene un potencial de 136, 100 MW y anualmente estaría brindando 1190 billones de kWh, mientras que el primer estado que cuenta con potencial eoloeléctrico es North Dakota con una capacidad para producir 138400 MW y estaría brindando una producción anual alrededor de 1210 billones de kWh, sin embargo en la actualidad se tienen instalados tan sólo 714.43 MW y en construcción otros 345 MW. Cabe mencionar que aún cuando en algunos estados es mayor la inversión realizada y la proyección de nuevos parques eólicos, E.U. cuenta para el 2009 con más del 70% de su territorio con parques eólicos construidos y en operación, y no es de extrañar que estados como California cuenta con 117 parques eólicos, pues se tienen registros según la AWEA (2009) desde la década de los ochentas y dos más en construcción con una capacidad total de 20 MW. En total E.U. cuenta con 642 parques construidos, esto quiere decir que por lo menos en cada estado tiene alrededor de 12 parques eoloeléctricos con una capacidad instalada cerca de los 2500 MW. “Para 2008 en E.U la industria del viento creó 35000 nuevos empleos y \$17 billones de dólares en inversiones” (Power of wind, 2009).

2.4 Mecanismos para impulsar la energía eólica

Según Lewis et al. (2006), existen varios mecanismo para impulsar el desarrollo de la energía eólica en el los países, su clasificación se divide en dos: los mecanismos directos y los mecanismo indirectos.

Los mecanismos directos son:

- a) Requerimientos de competidores locales: la mejor manera de impulsar el desarrollo de la tecnología según el autor es por medio de su utilización a nivel local, de esta manera se abren nuevos mercados para el surgimiento de nuevas empresas, tal es el caso del gobierno español que generó y aprovecho este tipo de iniciativas para crear empresas como GAMESA y otras manufactureras que son casos de éxito en este sector.
- b) Incentivos fiscales y de impuestos: incluye iniciativas como desarrollar proyectos locales con bajas tasas de interés, o proveyendo subsidios financieros que permitan el desarrollo tecnológico a un nivel local. Los incentivos de los impuestos pueden ser

utilizados como fondo para impulsar el desarrollo de empresas dentro de las regiones, así como también como una forma de impulsar la I+D de las empresas dentro del sector.

- c) Créditos de exportación: es otro tipo de mecanismo para que la transferencia de tecnología se pueda llevar a cabo, proveyendo a las manufactureras locales mayor prioridad en la asistencia de estos créditos, los casos de éxito son los de Alemania y Dinamarca que han desarrollado este tipo de políticas, llevando a nivel mundial el desarrollo de la industria eólica.
- d) Certificados de calidad: un medio para promover la estandarización y credibilidad de la tecnología es por medio de las normas y certificaciones que las instituciones emiten, y que las empresas al elaborar la tecnología deben cubrir, ello les permite obtener prestigio, confidencialidad, y asegurarle al mercado que la procedencia del producto es auténtico.
- e) Investigación y desarrollo: es crucial para el éxito de turbinas y aplicación de nuevos materiales, por lo que dar soporte a esta iniciativa es de vital importancia si se desean obtener nuevas trayectorias y capacidades tecnológicas, que permitan la innovación en el sector.

Los mecanismos indirectos son:

- a) Tarifas eléctricas: arreglos en las tarifas eléctricas que permitan a la energía eólica mantenerse dentro de un margen competitivo.
- b) Mandatos: para la utilización de energía renovable dentro de la cartera de recursos energéticos aumentando el porcentaje de los renovables dentro de éstos.
- c) Proyectos a largo plazo: promovidos por el gobierno para el desarrollo de la energía eólica dentro de las regiones para beneficio de las mismas.

Algunos estudios han revelado que el adquirir compromisos y establecer objetivos particulares en el sector eoloeléctrico son una estrategia más para el desarrollo de tecnología y capacidades tecnológicas, así como el incremento de bienestar entre las poblaciones europeas. Para Enzensberger et al. (2002), el desarrollo de proyectos eoloeléctricos tiene que ver con la utilización de instrumentos políticos, como se indica en el diagrama 4, que los divide en dos ejes principales: instrumentos legislativos (implementados por el gobierno) y no legislativos (que puede ser implementado por cualquier actor que esté interesado en dar sustento o soporte a las iniciativas de energía renovables), que a su vez se subdividen, por el lado de las medidas

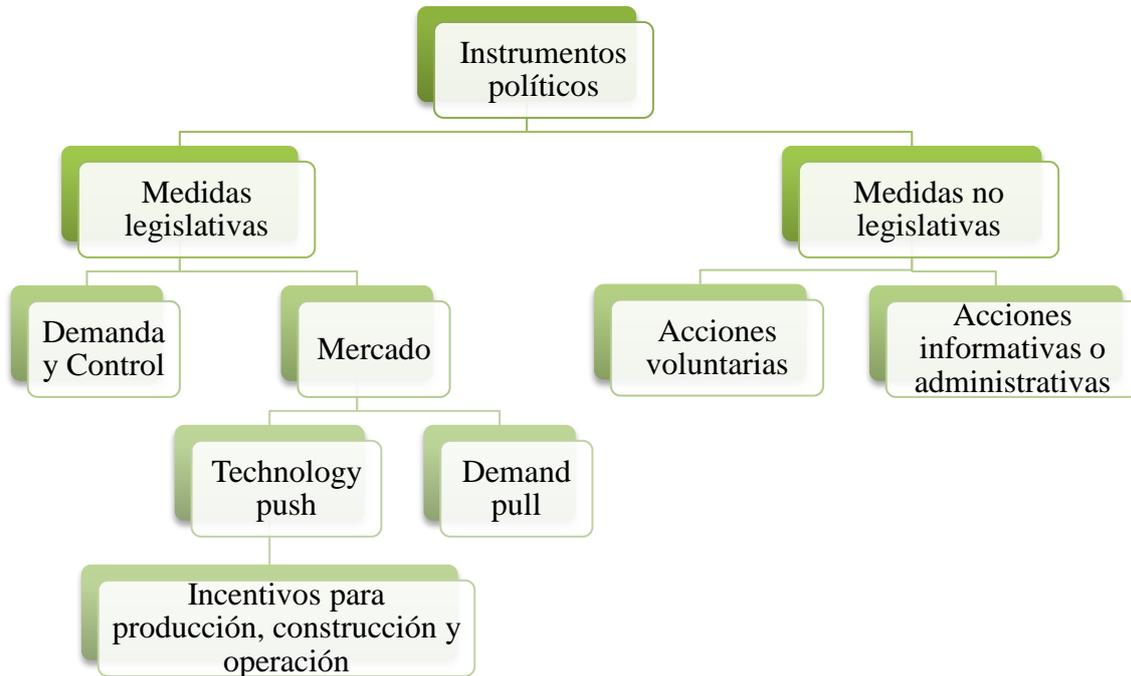
legislativas en: Instrumentos de demanda y de control (referidos a instrumentos regulatorios, inversiones controladas, mandatos) y por el otro lado: Instrumentos basados en el mercado o económicos, en donde la fuerza del mercado encuentra dos vertientes: 1) el *technology push*, la tecnología se lleva al mercado y 2) el *demand pull*, el mercado o los sectores productivos demandan dicho bien, pero es en el primero donde los incentivos gubernamentales se hacen notar más, impulsando más a las empresas para su producción, construcción y operación de este tipo de energías. Mientras que por el lado de las medidas no legislativas tenemos: acciones voluntarias (certificaciones, control de calidad, responsabilidad ambiental) y acciones informativas o administrativas (vanguardia en tecnología, procedimientos administrativos, mercadotecnia), en términos generales las medidas no legislativas son acciones que generalmente emprenden organizaciones de cualquier tipo para impulsar la utilización de energías renovables.

Lo más difícil no es elaborar la ley o el instrumento en sí, lo más difícil como lo indica el autor es el elegir el instrumento más adecuado a las necesidades de cada mercado, que radica en los objetivos y metas de cada país.

Algunos aspectos importantes para tomar la mejor elección para el sector eoloelectrónico son:

- 1) Eficiencia: la nueva medida legislativa o no legislativa debe recaer en un recurso óptimo tal, que permita la explotación del recurso eólico a niveles sustentables, en términos tecnológicos, económicos y sociales.
- 2) Impacto social y económico: cualquier tipo de medida debe tener en consideración el impacto a nivel micro, meso y macro económico que la nueva tecnología trae consigo, mientras mayor sea este el impacto social será mayor.
- 3) Flexibilidad: algunas leyes, prohíben su modificación a través del tiempo, por lo que este concepto recae en la apertura que tiene dicha ley para ser modificada, evaluada, operada y nuevamente repetir el ciclo.

Diagrama 6. Instrumentos de política energética



Fuente: elaboración propia con información obtenida de Enzensberger et al. (2002).

2.5 Eficiencias y costos en la industria eoloeléctrica

La eficiencia dentro de la industria de la energía eólica lamentablemente es una variable que no se puede controlar del todo, ya que el insumo para que esta industria se mueva es el viento, siendo más exactos las corrientes de viento existentes en el mundo, por lo que se pueden hacer aproximaciones de su comportamiento en conjunto con otras variables como son presión, temperatura, altitud y localización donde se realicen las mediciones, dichos datos los podemos encontrar en los llamados Atlas Eólicos, más aún la eficiencia, la producción y la instalación de un aerogenerador depende en mucho de estos datos obtenidos. Sin embargo hablando en términos tecnológicos su eficiencia recae en el ingenio humano capaz de construir con los mejores materiales y menos costosos las máquinas y herramientas que darán origen al cambio tecnológico. Cuando se habla de eficiencia se puede hablar de eficiencia técnica, económica, operativa, ambiental, cada una con sus peculiaridades.

La eficiencia técnica es lo que un ingeniero puede hacer posible o funcionar sin importar como, para este caso un grupo de ingenieros puede contener la solución para “x” números de problemas técnicos pero que en la práctica pueden ser poco eficientes económicamente.

La eficiencia económica en términos de la industria eólica no se puede dejar a la deriva o mantenerse al margen, existen prioridades y estándares de seguridad que no se pueden abaratar simplemente por ahorrar dinero, como se verá más adelante dichos estándares son también los que mantienen incipiente la necesidad de modificar materiales, en ocasiones mas caros en ocasiones más baratos pero a final de cuentas tratan de dar mejores resultados que los existentes.

La eficiencia operativa es aquella eficiencia que surge del resultado de una trayectoria de aciertos y errores los cuales conducen en la práctica a manejar en mejor medida las situaciones.

La eficiencia ambiental, es aquella eficiencia que permite un desarrollo sustentable, no sólo en la operación de la tecnología (baja en emisiones de gases de efecto invernadero) si no también la necesidad a que dicha cadena productiva fuera o sea también ambientalmente sustentable.

Como se mencionó anteriormente la necesidad de mejorar ya sea el producto o proceso no significa necesariamente que sus costos se abaraten como a continuación se describe algunos aspectos importantes o relevantes sobre el tema.

Según Berry (2009), un mejoramiento en el diseño de las turbinas impactará en menores costos por MWh generado. Como ya se mencionó anteriormente, existen diferentes áreas en las que se puede innovar aún, pero en donde se tendrá mayor impacto será en aquellas referentes a los que generen un mayor factor de producción, esto es, que den mayores eficiencias y facilidades para producirlas (esto nos lleva a una eficiencia técnica-económica y ambiental). Y por otra parte indica el autor que el hecho de que se innove puede traer consigo mayores costos de operación y manutención, creando también una cadena productiva que impacte directamente en altos precios en la generación de energía eólica, factores que pueden modificar los costos. Sin embargo, existen otros factores externos que no se pueden controlar y el grado de incertidumbre es mayor, aún cuando se hayan realizado estudios para pronosticar la cantidad y potencia del viento este es incierto, por ejemplo cuando se está generando mucha electricidad por un flujo constante de viento y la demanda es baja el excedente tiende a perderse, es por ello que la proyección de este tipo de infraestructuras viene acompañados de otros proyectos alrededor de ellos a nivel macro puede acompañarse de inversión de complejos industriales, domésticos, etc, de generar la demanda y a nivel micro

dentro del sector como Schumpeter lo menciona en una innovación en forma de racimos de uvas.

“La idea es que la reducción del costo ocurra como una gran experiencia que es ganada con la manufactura, instalación, y operación de la tecnología: el costo de la unidad a través del tiempo t es una función de los costos de la primera unidad y la producción acumulativa sobre el tiempo t ” (Berry 2009:2).

Según Berry (2009) las economías de escala proporcionan una reducción de los precios, por ejemplo se ha reportado que para el caso de la empresa VESTAS en su manufactura de la turbina V47 ha existido hasta un 6.1% de reducción en sus costos por llevar a la práctica este concepto con clientes de E.U., Inglaterra, España y Australia.”Economías de escala al nivel de turbinas individuales podría ocurrir si una granja de viento de 100 MW costara menos que una granja de viento de 50 MW, cada granja cuenta con el mismo tipo de turbinas de viento. Esta economía puede ocurrir si existe un volumen discontinuo por ordenar para un gran número de proyectos” (Berry 2009:2).

Según la Northern Arizona University (2007); Smith et al. (2007); Pearson et al. (2008), citado en Berry (2009) los costos menores son del orden de \$3 dólar por MWh y 6\$ dólar por MWh para los costos moderados de generación de energía eléctrica.

No existe realmente una fórmula que nos indique que el mejor camino es abaratar los costos, en algunos casos se puede dar y se debe de aprovechar, por otra parte el invertir en I+D es siempre una inversión fuerte por parte de los empresarios, centros de investigación y de los gobiernos, que puede llevar a un callejón sin salida o siendo una fuga de recursos, sin embargo al estudiar diferentes casos a nivel mundial nos permite vislumbrar el mejor camino para llegar a resultados concretos.

La eficiencia y los costos van relacionados con la capacitación para la operación y desarrollo de nuevas tecnologías, son la plataforma principal de la generación de conocimiento, que se convierte en un determinado momento en innovación. La industria de la energía eólica a nivel mundial se ha desarrollado gracias al capital humano.

2.6 Barreras de entrada de la energía eólica

Según Lewis et al. (2006), a pesar de que los beneficios de implementar la energía eólica en un país trae consigo múltiples beneficios, también existen barreras que impiden la entrada de nuevas empresas a este sector, ya que empresas pioneras en la construcción y operación de plantas generadoras de energía eléctrica con eólica, han invertido tiempo y dinero en la I+D para el mejoramiento de su manufactura. Algunos países como Japón que a pesar de no contar con una industria eólica tan fuerte como Alemania, Dinamarca o España han desarrollado CT que le han permitido desarrollar su propia tecnología y entrar en el mercado de los aerogeneradores. Entre mayor sea el tiempo de desarrollo de capacidades tecnológicas que un país pueda tener, mayor será el avance sobre otros países, de esta manera la competencia entre potencias tecnológicas se vuelve cada vez más reñida al tratar de conquistar antes que nadie la frontera del conocimiento. Por otra parte los derechos de propiedad intelectual en países en desarrollo se han vuelto una barrera más para que generen su propia tecnología y entrar en el mercado. Pero a pesar de la problemática que se desarrolla, existen posibilidades para tomarlo como una oportunidad de negocio. A nivel mundial existen cuatro empresas que han manejado durante la última década el mercado eoloelectrico estas son: VESTAS, *GE Wind*, Enercon y GAMESA, de las cuales VESTAS y GAMESA son las principales que ocupan un 40 y un 60 por ciento de mercado respectivamente, en cuanto a transferencia de tecnología se refiere, mientras que VESTAS ha permitido que GAMESA manufacture aerogeneradores con derechos de propiedad intelectual cedidos, GAMESA se ha vuelto cada vez más competitivo para VESTAS, con sus bajos costos de manufactura, entrando en el mercado a nivel mundial.

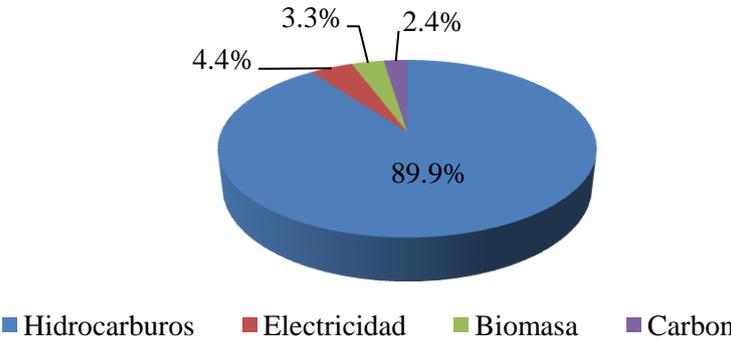
Capítulo III. Energía eólica en México

3.1 Situación actual de la energía eólica

A diferencia de otras fuentes de energía, la energía eólica en México solamente se utiliza para autoconsumo y la comercialización todavía le pertenece únicamente a dependencias gubernamentales como CFE, en el periodo 2006-2007 se incrementó en 446% su producción, debido a la entrada en operación comercial de la central La Venta II en Oaxaca, SENER (2010).

Sin embargo, la fuerte dependencia de otras fuentes de energías primarias, principalmente de hidrocarburos, siguen predominantes en el consumo energético, como se muestra en la siguiente gráfica:

Gráfica 3. Producción de energía primaria, 2007 (10522.966 PJ)



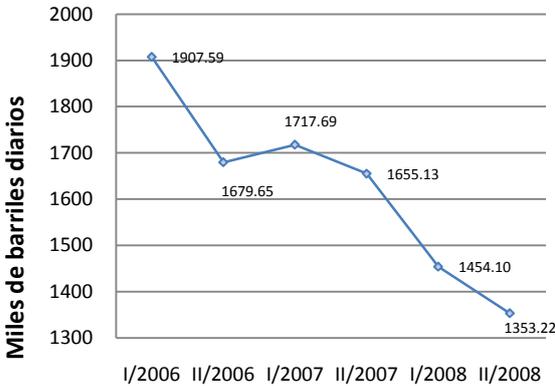
Fuente: Elaboración propia, con base en SENER (2010).

De la gráfica anterior se observa que la electricidad representa un 4.4% del total de la producción de energía primaria, de los cuales la energía eólica representa un aproximado de 0.02% algo insignificante para el total de la producción de energía primaria. Esto revela que el sector energético en México está basado en el consumo de hidrocarburos, no existe una diversificación de fuentes primarias y secundarias para la generación de energía y mucho menos, para la generación de electricidad. La IEA (2009) menciona a través de su libro: “*Experience curves for energy technology policy*” que: la comercialización de la energía

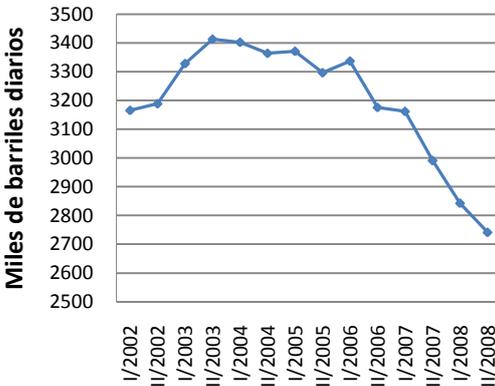
eléctrica con base en una fuente eólica requiere de mucho más esfuerzos que otras energías alternas. Ya que demanda de una curva de aprendizaje que exige mayor tiempo y recursos, aunado a que por efectos de crisis económicas algunos proyectos de I+D de energía eólica públicos, se han visto rezagados, sin concluir sus investigaciones. A pesar de que estos avances son pequeños han generado grandes beneficios para la tecnología. El aprendizaje ha sido un fenómeno difuso, dado en varias etapas, tanto en el manejo como en la implementación de dicha tecnología en diferentes países.

Mientras que algunos creen que la explotación de centrales eoloeléctricas al sur del país es la mejor opción para generar electricidad, como según Tonda (2003) expone, el gobierno mexicano sigue con una política energética basada en los hidrocarburos, a pesar de que sus volúmenes de producción y exportación de petróleo van decreciendo según la SENER (2010) (Gráfica 4 y 5), dejando muy poco margen de maniobra para la implementación, investigación y operación de producción de energía eléctrica con otro tipo de fuente.

Gráfica 4. Total de volumen de exportación de petróleo



Gráfica 5. Producción de crudo 2002-2008

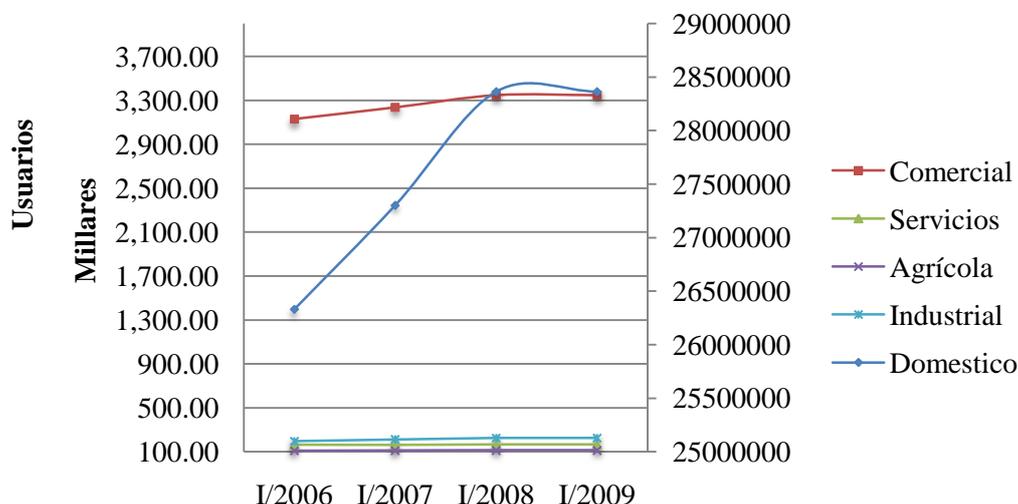


Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de SENER (2010).

En términos nacionales la demanda de energéticos sigue en aumento tan solo para 2008 el número de usuarios domésticos creció en un 0.96% con respecto a 2007, mientras que en el sector industrial creció en un 1.45% pasando de 212000 usuarios en 2007 a 225000 usuarios para 2008, de la misma forma podemos observar ligeros crecimientos en los diferentes

sectores productivos (gráfica 6) demandando por lo tanto mayor producción de energía eléctrica.

Gráfica 6. Usuarios de energía eléctrica por sector



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE (2009).

Según la SENER (2010) hace mención a “la capacidad instalada para la generación de electricidad, al 31 de diciembre de 2007, ascendió a 51029 MW, de los cuales el 25.2% correspondieron a centrales térmicas convencionales, 33.1% a ciclo combinado, 22.2% a hidroeléctricas, 5.1% a carboeléctricas, 4.1% a dual, 2.7% a la central nucleoelectrica, 1.9% a geotérmica, 5.6% a turbogas y combustión interna y 0.2% a las eoloeléctricas” SENER (2010) Referencia *Electrónica* [en línea]. Recuperado el 11 de abril de 2009 de: http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Balance_2007.pdf.

Entre 2006 y 2007 el procesamiento de energía primaria en las centrales eléctricas decreció en 4.3%. Durante el 2007 se transformaron 772.8 PJ en las centrales eléctricas, equivalentes al 13% del total dirigido a los centros de transformación. En las plantas hidroeléctricas convirtieron 268.2 PJ, en las carboeléctricas 314.3 PJ de carbón térmico, en la central nucleoelectrica 114.5 PJ, en las plantas geotérmicas 73.4 PJ y en las plantas eólicas 2.5 PJ SENER (2010).

Para el periodo 2006-2007 se presentaron en términos de comercio exterior, con relación a la electricidad, saldos favorables; en las exportaciones de electricidad se registraron 4.676 y

5.224 PJ respectivamente, teniendo una variación porcentual de 11.7, mientras que en las importaciones fueron de 1.883 y 0.997 PJ respectivamente, teniendo una variación porcentual de -47.0, esto quiere decir que para el periodo de 2006-2007 México exportó más electricidad de lo que se importó, lo que es un indicador positivo para el sector eléctrico, sin embargo no hay que dejar a un lado el consumo nacional, que para el mismo periodo se obtuvieron los siguientes datos: en “2007 registró la cifra de 8239.1 PJ, monto superior en 2.5% a los 8034.7 PJ de 2006”, a pesar de que la carencia de energías primarias han tenido bajas en su producción en los últimos años, en la rama de energías secundarias en especial la de electricidad ha crecido en producción, exportaciones y consumo, lo que hace del sector atractivo para la inversión pública y privada. En países de Europa la mayor parte del apoyo se otorga por parte de la federación y sus leyes.

El subsidio es crítico para implementar un desarrollo sustentable hablando en términos de la utilización de nuevas alternativas para la generación de energía eléctrica, un estudio de 1998 de la OCDE define al subsidio en términos generales como: “cualquier medida que mantenga los precios por debajo del nivel del mercado, o para los productores arriba de los niveles del mercado, o que reduzcan los costos para los productores o consumidores”. Sin embargo establecer un subsidio a la energía eólica no ha sido fácil cuantificarlo, cuando se trata de una inversión privada para autoconsumo, así mismo el cuantificar las externalidades en el corto, mediano y largo plazo de la generación de la energía eléctrica con energía eólica es extremadamente difícil, es por ello que empíricamente los estudios de subsidio usan una definición convencional que asuma los precios y costos del mercado, de ahí que se derivan una serie de tipos de subsidios para el sector energético.

La intervención del gobierno, es intencionada para remediar en cierta medida las fallas del mercado, o para replicar un mercado perfecto. Las consideraciones sociales tanto como un mercado pobre o de desventaja tal vez sea una razón más para implementar el subsidio de la energía eólica. La mayoría de los gobiernos consideran razonable acceder a un precio mínimo de los nuevos servicios de energía pero que en términos sociales se enfrentan a un gran desafío ya que existe todavía inequidad social.

En la práctica, la mayoría de los programas de subsidios de energía son justificados para:

- 1) Proteger el empleo en una industria en particular o sector a favor de la competitividad internacional o promover la creación de empleos.

- 2) Estimular del desarrollo económico regional o rural.
- 3) Reducir la dependencia de las importaciones de energía por razones de seguridad.
- 4) Disminuir los costos y/o proveer el acceso de servicios modernos de energía para grupos sociales específicos o comunidades rurales como soporte principal del bienestar.
- 5) Proteger el ambiente.

La electricidad es indispensable para el crecimiento económico y el mejoramiento de la calidad de vida de la población, de cualquier país. Uno de los grandes retos del sector eléctrico en particular para México, según el PSE 2007-2012, es reducir el nivel actual de las tarifas, a fin de coadyuvar al desarrollo económico del país y de la competitividad nacional. Esto no es sencillo de llevar a cabo pero con estrategias concretas se puede comenzar a avanzar, como se menciona a continuación con base en el PSE:

- Incorporando en la planeación del sector eléctrico elementos de análisis y prospectiva en materia de eficiencia, confiabilidad y calidad en el suministro de energía eléctrica.
- Revisando los procedimientos para la evaluación de proyectos de inversión de CFE, a fin de asegurar que se seleccionen las opciones más adecuadas desde el punto de vista técnico, económico, financiero y de desarrollo sustentable.
- Creando programas que permitan mitigar efectos de fluctuaciones en precios internacionales de combustibles.
- Estableciendo mecanismos que permitan un manejo adecuado del endeudamiento.

Otro punto importante, es el asegurar el suministro de las energías primarias, para ello se requiere equilibrar el portafolio de generación con distintas tecnologías y fuentes primarias, dando énfasis en la independencia de sus importaciones, volatilidad de precios y el impacto ambiental que pudieran tener. Dado que los proyectos de generación son a largo plazo, dependiendo de la tecnología, el proceso de diversificación sólo puede llevarse de manera paulatina, considerando la vida útil que se tiene en las centrales actualmente en operación. En este sentido se desarrollan estrategias orientadas a promover el aprovechamiento y utilización de todas y cada una de las oportunidades técnicamente, económicamente y socialmente posibles en la generación de electricidad. Hoy en día una estrategia más que está tomando el gobierno federal para el aseguramiento de energías primarias y que se estipula en el PSE es: “Impulsar proyectos en las modalidades previstas por la Ley del Servicio Público de Energía

Eléctrica, en que los sectores social y privado, así como los gobiernos estatales y municipales, puedan participar” PSE (2009), esto quiere decir que se trata de promover aquellos proyectos que puedan ser implementados por los sectores públicos y privados y que impliquen la utilización de fuentes renovables de energía.

En México, según Rodríguez (2010) el desarrollo de la tecnología eoloeléctrica se inició con un programa de aprovechamiento de la energía eólica en el IIE, en 1977, cuando la CFE, cedió al IIE la Estación Experimental Eoloeléctrica de El Gavillero, en Huichapan, Hidalgo, “donde se pretendía instalar energía eléctrica en el ejido..., a partir de una microcentral eólica, integrada por dos aerogeneradores australianos Dunlite de 2 kW cada uno, un banco de baterías, y un inversor de 6 kW para alimentar la red de distribución del poblado. El inversor, construido por personal de CFE, fallaba arriba de los 2 kW de demanda por problemas de calidad de componentes, por lo que físicamente no pudo realizarse el experimento, sin embargo, estando instrumentado el sitio, se tenían los promedios horarios de velocidad del viento y conociéndose las características de respuesta de los aerogeneradores era posible estimar numéricamente la energía que podría suministrarse al ejido. El régimen de vientos del lugar producía exceso de energía en verano y déficit en invierno para el consumo normal del poblado.”(Rodríguez 2010, recuperado el 19 de abril del 2010; en línea de: http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_612_energia_eolica?page=2).

Esta estación, El Gavillero, se habilitó como centro de prueba de aerogeneradores y se construyó un simulador de pozo de agua para la prueba y caracterización de aerobombas. La estación estuvo en operación hasta 1996 en que fue desmantelada.

3.2 Proyectos de desarrollo tecnológico en materia de eoloenergía

Es importante que se desarrollen proyectos de desarrollo tecnológico e innovación en materia de energía eólica, en la trayectoria de esta tecnología en el país es evidente que en principio se tuvo una iniciativa por dedicarle tiempo y recursos a la energía eólica sin embargo a finales de los años ochentas los proyectos tecnológicos en esta área se ven fuertemente derrotados ante la presencia de crisis política y económica. A continuación enumeramos algunos de estos proyectos que dan precedente a la generación de energía eléctrica con energía eólica en México.

El IIE desarrolló y probó en El Gavillero, los siguientes prototipos de aerogeneradores:

Cuadro 11. Prototipos de aerogeneradores en El Gavillero

Nombre	Capacidad (kW)	Año de desarrollo	Descripción	Observaciones
Sin nombre	1.5	1977-1978	Rotor horizontal de tres aspas de aluminio, con control centrífugo de ángulo de ataque, para regular la potencia entregada.	Después de las pruebas de caracterización, que resultaron satisfactorias y corroboraban las expectativas de diseño, estando parado, un gran remolino lo impactó, arrancándole dos aspas y destruyéndolas. Los exámenes posteriores evidenciaron un error en los procedimientos de soldadura en atmósfera inerte, en el soporte rotatorio del mango del aspa. Dicho prototipo no fue reconstruido al evidenciarse problemas de suministro de componentes y materiales, así como del control de calidad en los procesos de fabricación.
FENIX	2	1981-1983	Aerogenerador de tres aspas de fibra de vidrio de alta eficiencia aerodinámica, generador trifásico de imanes permanentes y sistema de control a base de timón de cola plegable, que lo mismo limita la potencia que lo inhabilita para condiciones de vientos extremos.	Este pequeño aerogenerador es capaz de proporcionar del orden de 250 kWh por mes, lo que permitiría energizar una vivienda rural con todos los servicios eléctricos usados responsablemente. Este aerogenerador es también objeto de trámites de patentes y su transferencia a la industria está disponible.
ALBATRO S I	10	1981-1985	Constituyó el mayor aerogenerador desarrollado en México, de 10 kW de potencia eléctrica, con base en un generador de imanes permanentes de 28 polos y rotor de tres aspas de 11 metros de diámetro, fue concebido para operar como aerobomba eléctrica, ACCIONANDO en régimen de velocidad variable, una bomba eléctrica convencional, sumergida o vertical, de 7.5 a 10 HP, ACCIONADA con corriente trifásica a 220 Volts y frecuencia de 40 a 80 ciclos/segundo, dependiendo de la velocidad del viento.	Si hacemos una comparación con la información anterior de Europa para ese año el diámetro de las aspas era mínimo 15 metros mientras que en México se desarrollo a partir de 11 esto debido a la poca resistencia de los materiales existentes para el desarrollo de aspas más resistentes y largas. Del Albatros I se desarrollaron dos versiones, la aerobomba mecánica, con mecanismo de carrera variable, para optimar el aprovechamiento de la energía eólica en bombas de émbolo, y la eléctrica, trabajando en régimen de velocidad variable en la bomba, mejorando la eficiencia.

Continuación cuadro 11. Prototipos de aerogeneradores en El Gavillero

Nombre	Capacidad (kW)	Año de desarrollo	Descripción	Observaciones
ALBATROS II	10	1986-1987	Se desarrolló alrededor del concepto de la vela, sin usar una tela de alta resistencia, alto costo y de importación, sino un remedo semirrígido de fibra de vidrio, en que por torsión del aspa se varían las características aerodinámicas de la misma y se controla y limita la potencia transferida al rotor. Este aerogenerador, funcionaba bien en sus primeras pruebas operacionales. Antes de ser instrumentado para su caracterización.	Lo impactó un gran remolino, estando parado y frenado, levantando el conjunto de bastidor y rotor, de más de 600 kilos, al menos 30 centímetros para sacarlo del mecanismo de tornamesa que en la cúspide de la torre de 18 metros, permite la orientación del conjunto para darle la cara al viento cuando está en operación. La caída fue catastrófica, ya que el conjunto del rotor, de tres aspas y 11 metros de diámetro, con largueros de aluminio, fue totalmente destruido.
LA AVISPA	0.3	1990-1995	Utilizó un alternador de automóvil, el que producido industrialmente con un generador de imanes permanentes sería nominalmente de 500 Watts o 0.5 kW. Se consideraron tres criterios básicos, su confiabilidad y su reproducibilidad industrial a bajo costo. Este aerogenerador es objeto de patentes en trámite, por soluciones novedosas en los mecanismos de control y ensamble.	Resume la experiencia de más de una década diseñando, construyendo y probando aerogeneradores. Este equipo es equivalente ahora a seis paneles fotovoltaicos de 50 Watts pico, permitiría en una vivienda rural, energizar el alumbrado con lámparas fluorescentes compactas, el radio durante el día y una televisión en la noche, así como un pequeño refrigerador, ya que proporcionaría del orden de 50 kWh al mes, en condiciones adecuadas de viento (5 m/s de promedio anual).

FUENTE: Elaboración propia con datos obtenidos de CONUEE (2009).

Los prototipos anteriores fueron los pioneros de la tecnología eólica en México y sin embargo han quedado solamente en esa etapa. En suma el IIE aporta más de 30 años de experiencia en la investigación y desarrollo de la energía eólica pero que por razones de capital financiero y humano, han quedado en prototipos.

El IIE, ha sido la única institución que por más de 30 años ha mantenido una ruta consistente de desarrollo que según CONUEE (2009), se destaca por el desarrollo de sistemas conversores de energía eólica, sistemas de prueba y adquisición de datos, un túnel de viento con un sistema de adquisición de datos en tiempo real, un laboratorio móvil de meteorología eólica, y la Estación Experimental de El Gavillero, Hidalgo.

Los principales proyectos que se desarrollaron a nivel nacional son:

Cuadro 12. Proyectos de desarrollo en tecnología eólica

Proyecto	Institución Ejecutora:	Lugar y fecha	Descripción	Comentario
Desarrollo de los Aerogeneradores Ehecatl de pequeña potencia	Ehecatl Mexicana S.A. de C.V. y FIUAEM	Toluca, Estado de México, 1991	Aerogenerador con turbina tripala de eje horizontal de 5 m de diámetro y perfiles aerodinámicos. Alternadores y bandas de tipo automotriz y potencia nominal de 1 kW ante vientos de 8 m/s.	Después de 4 años de estudio fueron modificados con controladores más avanzados, económicos y livianos.
X-Calak	Gobierno del Estado de Q. Roo, Condumex	X-Calak, Othón P. Blanco, Quintana Roo. 1992	Sistema Híbrido formado por 60 kW de generador eólicos, 11.2 kW fotovoltaicos y un generador diesel.	Abastece de energía eléctrica a todo el poblado. Fue instrumentado mediante un convenio de colaboración entre Condumex, IIE y los laboratorios de Sandia NM. Tecnología extranjera con integración de componentes de desarrollo nacional.
Sta. Ma. Magdalena	Westinghouse IPC	Actopan, Hidalgo, 1991	Sistema Híbrido: 4.32 kW fotovoltaicos, 5 kW eólicos y 18.4 kW con generador diesel.	Cuenta con equipo electrónico para la adquisición de datos.

Continuación cuadro 12. Proyectos de desarrollo en tecnología eólica

Proyecto	Institución Ejecutora:	Lugar y fecha	Descripción	Comentario
Instalación demostrativa de un aerogenerador de 250 kW en las salinas de Guerrero Negro BCS	Exportadora de Sal SA de CV y Mitsubishi	Guerrero Negro Baja California Sur, 1985	Capacidad: 250 kW de 30 m de diámetro.	Transferencia de tecnología
El Junco	Intel. S.A. de C.V.	Mazapil, Zacatecas, 1992	Sistema híbrido: 1.6 kW fotovoltaicos y 10 kW eólicos.	A la fecha sigue en operación.
Instalación de un aerogenerador de 600 kW en Guerrero Negro BCS	CFE	Guerrero Negro BCS, 1998	Aerogenerador de 600 kW de 44 m de diámetro en una torre de 50 m de altura	Tiene un factor de planta del 27% se puede comparar con algunas eoloelectricas ubicadas en Europa. Desde su instalación sigue en funcionamiento.
La Gruñidora	Entec, S.A. de C.V.	Mazapil, Zacatecas	Sistema híbrido: 1.2 kW fotovoltaicos y 10 kW eólicos	En la actualidad sigue en operación.
Central Eoloelectrica de la Venta Oaxaca	CFE	La Venta, Oaxaca, 1994	Formada por 7 aerogeneradores VESTAS de 225 kW con rotores de 27 m de diámetro, capacidad de 1575 kW. Interconectada al circuito de distribución.	Mano de obra local, Transferencia de tecnología. En la actualidad sigue en operación
Ignacio Allende y El Calabazal	Entec, S.A. de C.V.	Mazapil, Zacatecas	Sistema híbrido: 0.8 kW fotovoltaicos y 10 kW eólicos	En la actualidad continua en operación.
San Antonio Agua Bendita	Westinhouse e IPC para Luz y Fuerza del Centro	Tenancingo, Mex, 1993	Sistema Híbrido: 12.4 kW fotovoltaicos, 20 kW eólicos y 40 kW diesel.	En operación desde su instalación.
Central Eoloelectrica de la Venta Oaxaca	CFE	La Venta, Oaxaca, 1994	Formada por 7 aerogeneradores VESTAS de 225 kW con rotores de 27 m de diámetro, capacidad de 1575 kW. Interconectada al circuito de distribución.	Mano de obra local, Transferencia de tecnología. En la actualidad sigue en operación

FUENTE: Elaboración propia, con datos obtenidos de CONUEE (2009).

De los datos anteriores se puede comentar:

- El total de proyectos realizados por instituciones gubernamentales y privadas son 15 tomando en cuenta los prototipos realizados por el IIE.
- Estos proyectos se han llevado a cabo en los periodos comprendidos de 1977 a 1998.
- Los aerogeneradores mayores a 25 m de diámetro, extranjeros, son adquiridos por transferencia de tecnología principalmente, donde los países de procedencia son: España y Dinamarca principalmente y se realiza en los periodos comprendidos de 1994 a 1998.

Como se menciona en los capítulos anteriores los países desarrollados han mantenido estándares de I+D y proyectos en áreas primordiales para la innovación de la energía eólica como: métodos de producción, instalación, nuevos materiales, modelos y accesorios. En México se observa claramente un mecanismo político lineal de oferta selectiva en el que las instituciones del gobierno se han encargado de generar una industria de energía eólica de base tecnológica con bajo impacto dentro del sector eléctrico y por tanto menor en los demás sectores productivos, por el contrario al impulsar la industria eólica se generan cadenas productivas capaces de estimular a su vez innovaciones procedentes de usuarios y suministradores, y que a su vez generan riqueza para las comunidades en donde se desarrolla. Por ejemplo en Alemania se ha mencionado que para el 2007 se han instalado un total de 19460 turbinas con una capacidad total de 22247 MW que sobrepasa en un 7% el consumo de energía eléctrica, esto es se tiene una sobreproducción que genera cerca de seis billones de euros en exportaciones. Y dando empleo a más de 100000 personas, según AWEA (2009), clara evidencia de los beneficios que puede generar para el país, las comunidades, las empresas y las instituciones el crear mecanismos que lleven a explotar la innovación en el sector eléctrico, mas en específico en electricidad con energía eólica.

Un aspecto trascendental, que es parte de la problemática pero a su vez un área de oportunidad para la industria eólica en México es la protección industrial que otras empresas extranjeras están realizando en nuestro país. Cabe señalar que no todo lo patentado es innovación, pero que para el caso de las empresas como VESTAS o GAMESA como se describe en el cuadro 13, es protección con carácter de innovación ya sea como diseño

industrial o como aplicación. Por lo que respecta al presente estudio sólo nos reservaremos al análisis y tendencia de las áreas de oportunidad en las que las instituciones, centros de investigación y empresas podrían encontrar áreas de oportunidad. Si se desea estar a la vanguardia tecnológica y de innovación de la energía eólica se debe tener presente a los competidores que se están apoderando del mercado y más importante del conocimiento, a continuación se enlistan las patentes otorgadas en México en materia de energía eólica, la búsqueda fue hecha en el IMPI con las clasificaciones F03D (motores de viento) y H02 (producción, conversión o distribución de la energía) que como se ha venido mencionando durante el estudio son áreas estratégicas para la generación de energía eléctrica con energía eólica. Los resultados fueron:

Cuadro 13. Patentes otorgadas en México referentes a motores de viento y formas de producción, conversión o distribución de la energía

Nacionalidad de los inventores	Titular	Clasificación	Título
Alemana	ALOYS WOBLEN.	<i>F03D1/06 (2006-01); F03D1/00 (2006-01)</i>	Aspa de rotor de turbina eólica con emisión sonora reducida.
Alemana	GENERAL ELECTRIC COMPANY.	<i>B64C27/46 (2006-01); B64C27/32 (2006-01); F03D1/06 (2006-01)</i>	Método para producir una cuchilla de rotor, una cuchilla de rotor correspondiente y una central energética eólica.
Alemana	GENERAL ELECTRIC COMPANY.	<i>F03D9/02 (2006-01)</i>	Paleta para un rotor de turbina de energía eólica.
Alemana	ALOYS WOBLEN.	<i>F03D7/04 (2006-01); F03D9/00 (2006-01)</i>	Método para operar planta de energía eólica.
Alemana	GENERAL ELECTRIC COMPANY.	<i>F03D1/06 (2006-01)</i>	Pala de turbina eólica.

Alemana	WOB BEN, Aloys.	F03D1/06	Conexión del alabe de rotor de una planta de energía eólica en un cubo de rotor.
Alemana	WOB BEN, Aloys.	H02K1/24; H02K19/22	Generador de sincronización para aplicarse en aparatos de energía eólica así como aparatos de energía eólica.
Alemana	WOB BEN, Aloys.	F03D7/02; F03D7/04	Aparato de energía eólica.
Alemana	WOB BEN, Aloys.	F03D1/06	Alabe de rotor de bajo ruido e instalación de energía eólica con tales alabes de rotor.
Alemana	ALOYS WOB BEN.	E04H12/08; F01D11/00; F01D11/04	Anillo de refuerzo para torre de una instalación de energía eólica.
Alemana	WOB BEN, Aloys.	F03D11/00; F03D7/02; F03D7/04	Método de control de una instalación de energía eólica.
Alemana	ALOYS WOB BEN.	F03D9/00; H02J3/38	Método de operación de turbina eólica.
Alemana	WOB BEN, Aloys.	F03D9/00; H02J3/38; H02K16/04; H02M5/458; H02P7/00	Planta de energía eólica.
Alemana	WOB BEN, Aloys.	F03D7/04; F03D9/00	Instalación de energía eólica y método para operar la misma.
Alemana	WOB BEN, Aloys.	F03D7/02	Instalación de energía eólica.
Alemana	WOB BEN, Aloys.	F03D000/000	Soporte plano y unidad de energía eólica con el soporte.
Alemana	WOB BEN, Aloys.	F03D1/06; F03D11/00; H02G13/00	Instalación de energía eólica.

Alemana	WOB BEN, Aloys.	F03D11/00; F03D7/02; H02P3/24; H02P7/74	Impulsor acimutal para instalaciones de energía eólica.
Alemana	WOB BEN, Aloys.	F03D1/00; H02J3/18	Turbina de energía eólica y finca eólica que consiste de una pluralidad de turbinas de energía eólica.
Alemana	ALOYS WOB BEN.	F03D11/00(2006.01); F03D7/00(2006.01); F03D7/02(2006.01)	Verificación de carga de instalación de energía eólica.
Alemana	ALOYS WOB BEN.	F03D1/06(2006.01)	Aspa de rotor de una instalación de energía eólica.
Alemana	ALOYS WOB BEN.	F03D7/02(2006.01); H02K16/00(2006.01); H02K7/106(2006.01)	Planta de energía eólica con una maquina asincrónica para determinar la posición de acimut.
Alemana	ALOYS WOB BEN.	<i>H02J3/38 (2006-01); F03D9/00 (2006-01)</i>	Método de operación de turbina eólica durante una perturbación en la red.
Australiana	KATRU ECO- INVENTIONS PTY LTD.	<i>F03D11/00 (2006-01); F03D3/04 (2006-01); F03D7/06 (2006-01)</i>	Turbina eólica omnidireccional.
Austriaca	GERALD HEHENBERGER; AMSC WINDTEC GMBH.	<i>F03D7/02 (2006-01)</i>	Método y dispositivo para frenar el rotor de una planta de energía eólica.
Danesa	VESTAS WIND SYSTEMS A/S.	<i>F03D9/00 (2006-01); H02P9/10 (2006-01)</i>	Método para controlar una turbina eólica conectada a una red de distribución eléctrica.
Danesa	VESTAS WIND SYSTEMS A/S.		Modelo industrial de góndola de turbina eólica con una aleta de enfriamiento.
Española	IVAN LAHUERTA ANTOUNE, SEBASTIAN MANUEL LAHUERTA ANTOUNE, MARIA	F01D1/00(2006.01); F03D11/04(2006.01)	Turbina eólica autotimonante.

	LAHUERTA ANTOUNE.		
Española	GAMESA INNOVATION AND TECHNOLOGY.	H02K23/00 (2006-01)	Método para el funcionamiento de una turbina eólica.
Española	INGETEA ENERGY, S.A.	H02P9/04 (2006-01); F03D9/00 (2006-01); H02P9/00 (2006-01)	Turbina eólica de velocidad variable que tiene una maquina excitadora y un convertidor de potencia no conectado a la red.
Estadounidense	JOHN E. WILKS.		Mejoras en molino de viento para convertir la energía eólica en energía mecánica
Estadounidense	ZOND ENERGY SYSTEMS, INC.	F03D7/04; H02P9/00	Generador de turbina eólica de velocidad variable.
Japonés	MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.	F03D11/00(2006.01); F03D9/00(2006.01)	Generador de turbina eólica.
Japonés	MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.	F03D7/04 (2006-01)	Un dispositivo de control del ángulo de paso del aspa y un generador de energía eólica.
Letones	LEONIDS NIKITINS, MICHAILS STECURINS, ALEKSANDRS SCERBINA.	F03D3/06	Turbina eólica de eje vertical.
Mexicana	PEDRO MARTINEZ PEREZ (1982)		Mejoras en convertidor de energía eólica en energía mecánica
Mexicana	CARLOS DIEZ DE SOLLANO Y ORTEGA. (1988)	F03D-003/00; F03D-009/00; F03D-011/00	Mejoras en molino de viento para el aprovechamiento de la energía eólica

Fuente: Elaboración propia con datos de IMPI (2010).

Del cuadro 13, podemos observar que en México las únicas invenciones relacionadas con motores de viento y formas de producción, conducción o distribución de la energía realizadas por mexicanos son dos, las cuales están descritas como “mejoras” y que datan de 1982 y 1988. A pesar de que el alemán Aloys Wobben y su empresa ENERCON no cuentan con mucha presencia en México (en términos empresariales), la protección de sus invenciones adquieren relevancia en la categoría descrita anteriormente, en términos generales sus invenciones van encaminadas a métodos de operación de plantas eólicas, aspas que en movimiento producen baja vibración y sonido, e instalaciones de energía eólica que permiten optimizar la funcionalidad de los parques eólicos, las fechas de otorgamiento de las patentes en su mayoría corresponden a 2006. Por el contrario algo que se debería esperar de una empresa con fuerte presencia en el país como VESTAS o GAMESA es que contara con una alta protección de su conocimiento, cosa que no sucede, la pregunta es ¿por qué?, una posibilidad por la cual estas multinacionales no están patentado en México puede deberse a que están realizando convenios de TT, con las mismas empresas que aplican y operan la tecnología en el país, además de que VESTAS y GAMESA formulan los proyectos, ponen en operación y dan mantenimiento en su mayoría a los parques eólicos existentes en el país.

3.3 El potencial eoloeléctrico de México

Los principales estados de la República en donde existe potencial eólico son: Oaxaca, Zacatecas, Hidalgo, Jalisco, Baja California y Chihuahua, sin embargo son dos lugares principalmente donde se comienza a explotar este recurso que son: Oaxaca y Baja California, mientras que en Jalisco se están estudiando sus recursos eólicos para su explotación en proyectos futuros.

A continuación se describe el potencial que se está explotando y el que se está proyectando en tres regiones de la República Mexicana principalmente, que son: Oaxaca, Jalisco y Baja California.

En Oaxaca se cuentan ya con 5000 hectáreas de terrenos en los municipios de: Juchitán de Zaragoza, Unión Hidalgo, El Espinal y San Dionisio del Mar y en los próximos meses se espera adquirir 3000 hectáreas más, el puro Istmo de Tehuantepec producirá aproximadamente el 4% de electricidad de toda la República Mexicana, en la actualidad hay

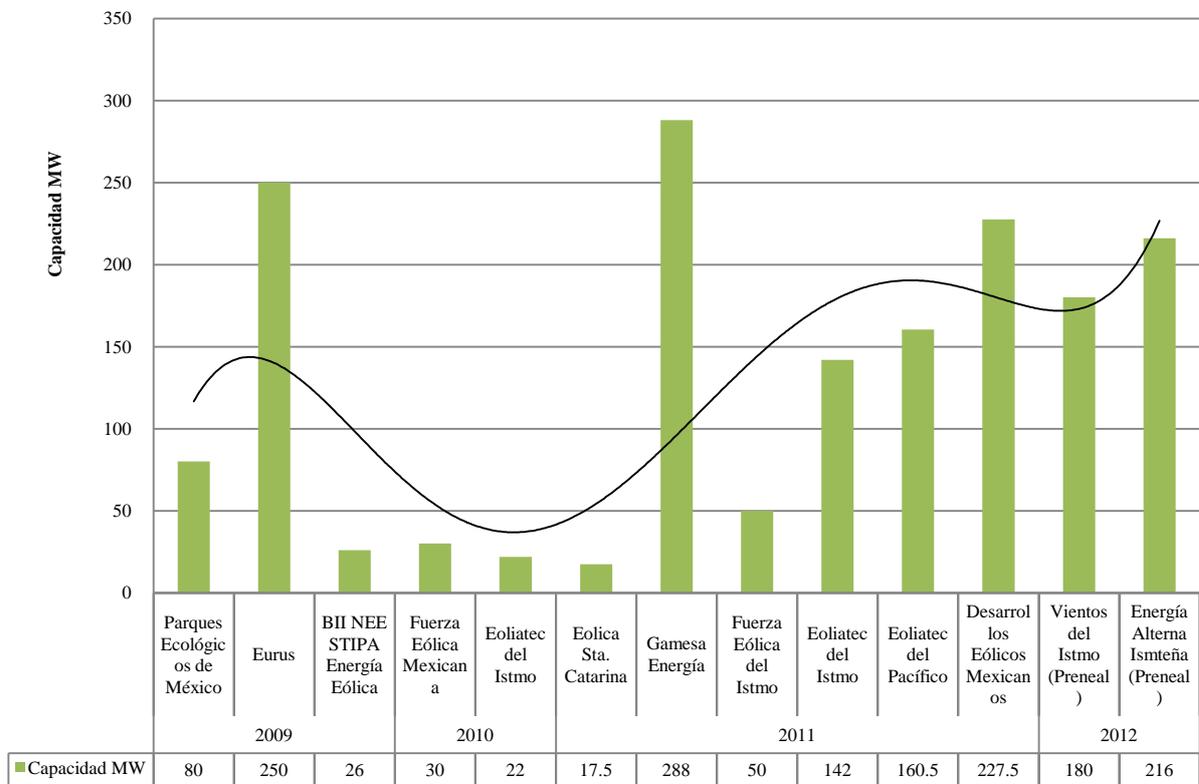
dos mil MW, esto debido a falta de infraestructura, pero se espera que en cuanto CFE provea el tendido de cables requeridos, se podrá construir los otros parques que den dos mil MW más, y así producir el 4% de la energía.

La empresa española Iberdrola y la mexicana Energías Ambientales de Guadalajara, se adjudicaron por medio de una licitación la construcción de las centrales eolieléctricas La Venta III y Oaxaca I respectivamente, con una inversión total de 393 millones de dólares, cada central contará con un potencial de 101 MW, generando alrededor de mil empleos. Además de que Iberdrola planea crear un Centro de Ingeniería para Redes y Subestaciones, que desarrollará en el país tecnología de generación de energía eólica. Según CNNExpansión (2009), en conjunto Iberdrola y ACCIONA, crearon el parque eólico Eurús que abastece a la cementera de energía eléctrica en la región de La Ventosa, Oaxaca, con una capacidad de 2.5 MW, tan sólo para dicho proyecto las empresas inversoras debieron realizar un gasto por más de 60 millones de dólares en infraestructura de tendido de cable, para conectarse a la red de suministro de la CFE, debido a que ésta no contaba con la infraestructura adecuada.

Para el caso de Baja California, Parque Eólico: La Rumorosa I, presenta grandes ventajas, gracias a sus características geográficas y topográficas, además que las líneas de transmisión, a diferencia de Oaxaca, se encuentran cerca. El proyecto se finalizó en Septiembre de 2009, y entró en operación en Marzo de 2010 con una capacidad de producción de 10 MW (cinco turbinas de 2MW cada una, modelo G-87, marca GAMESA) y una inversión de 26 millones de dólares, la empresa responsable de ejecutar el proyecto fue *Turbo Power Services* de capital estadounidense (Sánchez 2009, AFN 2009, Comisión Estatal de Energía de Baja California n.d.).

Aunque el país no está desarrollando su propia tecnología en el área, está adquiriendo una gran cantidad de proyectos en toda la República, como se observa en la gráfica 7.

Gráfica 7. Proyectos de autoabastecimiento con energía eólica de empresas privadas



Fuente: elaboración propia con datos de SENER (2010).

Lo que se puede observar es que las empresas que cuentan con proyectos fuertes son:

Cuadro 14. Proyectos por empresa

Año	Empresa	Capacidad MW
2009	ACCIONA	250
2011	GAMESA Energía	288
2011	Desarrollos Eólicos Mexicanos	227.5
2012	Prenea (en total)	396

Fuente: elaboración propia, datos SENER (2010).

En total se espera generar una capacidad total de 1689.5 MW para 2012, sin embargo es para el año 2011 que la inversión de los proyectos comience a incrementarse gradualmente, hasta finales del año 2012.

Por último para el caso de Jalisco aún no se ha montado ningún aerogenerador pero se está estudiando su posibilidad, ya que el estado cuenta con los siguientes datos que hacen pertinente la explotación de dicha tecnología. Según Aymamí et al. (2008), se analizaron 200,000 km² de terreno, cubriendo la totalidad del estado de Jalisco, los resultados arrojados por dicho estudio, fue la elaboración de un atlas eólico para dicho estado, permitiendo a los tomadores de decisiones darse cuenta del potencial eólico con que cuenta el estado de Jalisco, de esta manera el mejor lugar para explotar el recurso es en el Noreste del estado entre Lagos de Moreno y el Bajío de San José, donde se registraron las mejores mediciones con lecturas a 100 m de altura de 27 km/h como mínima y mayores de 34 km/h, dejando entre ver que el recurso se puede considerar excelente, haciendo un comparativo con Oaxaca, se estarían obteniendo producciones de electricidad similares, en promedio de 600 W/m².

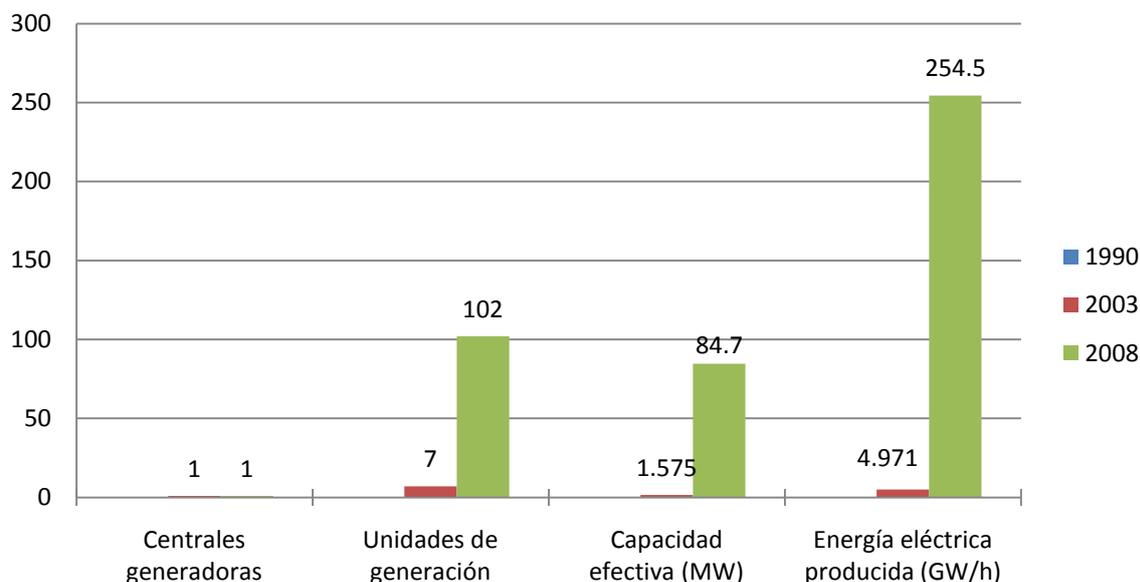
3.4 Ventajas económicas y ambientales de la energía eólica

Para este apartado me centraré en el caso del estado de Oaxaca, en el municipio de Juchitán de Zaragoza en la región de La Venta quien tiene mayor antigüedad operando la energía eólica. Lo que se estudiará será: 1) la producción de energía eléctrica *ex ante* y *ex post* de la energía eólica, 2) el impacto que se genere en el sector industrial y doméstico, 3) la cantidad de empleos directos generados.

Según la CFE (2010), los datos obtenidos fueron los siguientes:

La industria de la energía eólica de 1990 a 2008 ha mantenido crecimientos escalonados. Para 1990 no se contaba con ninguna instalación de aerogeneradores para la producción de electricidad en la República para el año 2003 se cuenta con una central de generación de energía eléctrica con energía eólica, ubicada en La Venta, Oaxaca, la cual a su vez tiene siete aerogeneradores de 0.2 MW produciendo aproximadamente 5 GW/h, es en 2008 que la cantidad de aerogeneradores se dispara para alcanzar un total de 104, de los cuales seis de ellos cuentan con una capacidad de producción de 0.2 MW y el restante cuentan con una capacidad de generación de 0.85 MW, como se observa en la gráfica 8.

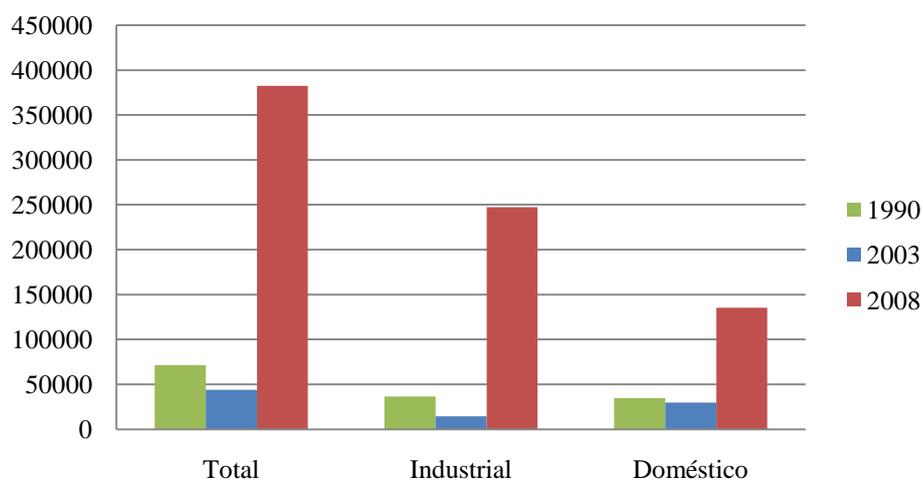
Gráfica 8. Datos energía eólica. La Venta. Oaxaca



Fuente: Elaboración propia, con datos de SENER (2010).

En términos de volúmenes de ventas de energía eléctrica para esta región se observa el mismo fenómeno escalonado el cual para 1990 se depende sólo de la energía hidroeléctrica teniendo un volumen de venta de aproximadamente 70 mil MW/h, bajando para 2003 debido a los ajustes en el sistema eléctrico para la entrada en operación de los siete aerogeneradores, suministrando únicamente energía al sector industrial, sin embargo nuevamente para 2008 el volumen de venta para el sector industrial creció en un 500% con la entrada en operación de los 104 aerogeneradores, permitiendo también que el abastecimiento de energía por la hidroeléctrica triplicara el número de volumen de venta, como se muestra en la gráfica 9.

Gráfica 9. Volumen de ventas de energía eléctrica (MW-h)



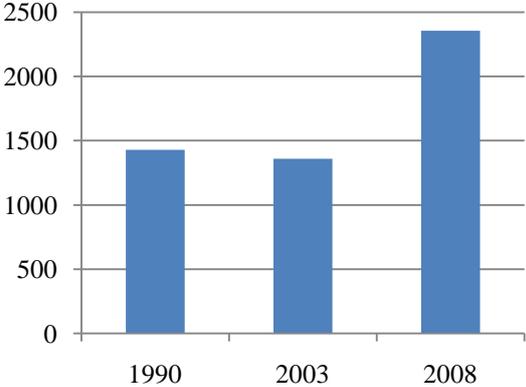
Fuente: Elaboración propia, con datos de SENER (2010).

Esto a su vez se puede traducir en mayor y menor cantidad de empleos e ingresos. Por un lado al implementar o construir la tecnología se pueden estar generando empleos, como en la construcción de un edificio (mucha gente, pero sin ser necesariamente empleados de planta), que al paso del tiempo se reduce la plantilla de empleados innecesarios. Pero pasa algo, al poner a trabajar los aerogeneradores también se pueden perder empleos en la hidroeléctrica, ya que la energía generada para la industria es absorbida por los nuevos aerogeneradores lo que implica menos horas hombre en la hidroeléctrica, que podría ser personal ocupado en los aerogeneradores pero es un proceso difícil, ya que éstos aerogeneradores pertenecen a capital privado. En la gráfica 10 se observa el capital humano ocupado en los años 1990, 2003 y 2008, de los cuales existe una reducción de capital humano para el año 2003 aproximadamente de 250 personas, debido al fenómeno mencionado anteriormente de menos hora hombre en la hidroeléctrica existente y nuevo personal en las centrales de aerogeneración de capital privado. Sin embargo para el 2008 el repunte y recontractación de personal es debido a la construcción de nueva infraestructura (tendido de cables, nuevas subestaciones, etc) para los 98 aerogeneradores puestos en marcha.

De la misma manera en la gráfica 11, se observa la remuneración que la gente ha obtenido por operar o construir los parques eólicos, para el año de 1990 se obtuvieron salarios de 68 mil pesos de 2008 por operar en la hidroeléctrica esto es aproximadamente seis mil pesos

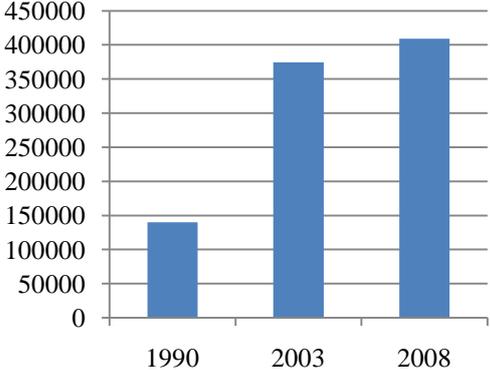
mensuales para un total aproximado de 1450 personas, para 2003 existe menor empleados aproximadamente 1400 pero las remuneraciones son mayores lo que se traduce en mayores ingresos para la gente, para ese año las remuneraciones fueron de 300 millones de pesos lo que implica que cada persona ganaba anualmente 214 mil pesos o 17 mil pesos mensual por operar y construir las unidades de generación, pero cabe señalar que es mano especializada, y por último para el año 2008 el personal ocupado se dispara hasta 2400 aproximadamente y las remuneraciones se mantienen casi a la par que en 2003, lo que implica que sus salarios se mantuvieron o hasta decrecieron alrededor de 16 mil pesos mensuales.

Gráfica 10. Personal ocupado



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2009) .

Gráfica 11. Remuneraciones (miles de pesos 2008)



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2009).

3.5 Análisis del proyecto “Plan de Acción para la Eliminación de Barreras para la Implantación de la Generación de Eoloelectricidad en México”

Para este apartado, lo que se analizará son dos proyectos que en conjunto están brindando la estrategia para adquirir la tecnología de la eoloelectricidad en el país, el primer proyecto lleva un gran avance, se denomina: “Plan de Acción para la Eliminación de Barreras para la Implantación de la Generación de Eoloelectricidad en México” y el segundo proyecto se está gestionando actualmente para que se lleve a cabo en la próxima década, denominado: “Proyecto de desarrollo de la energía renovable a gran escala”.

Estos proyectos son importantes pero no suficientes para que se tenga un impacto fuerte en la sociedad, en los sectores productivos y en las instituciones, pero puede ser un comienzo para cambiar el rumbo tecnológico de la energía eólica en México.

3.5.1 Proyecto “Plan de Acción para la Eliminación de Barreras para la Implantación de la Generación de Eoloelectricidad en México”

Este proyecto es la primera etapa de una serie de proyectos para diversificar la cartera de generación de energía eléctrica en el país. En un intento más por llevar a cabo acciones contundentes para explotar el recurso eólico el Instituto de Investigaciones Eléctricas, en conjunto con la Comisión Federal de Electricidad, la Secretaría de Energía, los gobiernos locales de las regiones propensas a explotar el recurso eólico (Oaxaca, Baja California, Baja California Sur, Hidalgo, Yucatán, Zacatecas, Chihuahua y Jalisco principalmente) e instituciones internacionales como el Banco Mundial, el PNUD en México, y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), gestionan el proyecto para que se lleve a cabo en su totalidad.

Según Borja (2003), el objetivo principal del proyecto es: desarrollar elementos de promoción y apoyo para la asimilación y el desarrollo de la eoloelectricidad, como elemento de innovación tecnológica en el sector, de acuerdo con las políticas públicas nacionales. Entonces para este proyecto el objetivo principal es la difusión de la tecnología dentro del país, que en congruencia con la Estrategia Nacional Energética 2010 y la Prospectiva Nacional Energética 2009-2024, indican que el crecimiento de las energías renovables se incrementarán para llegar en promedio a un cinco por ciento de la producción de la energía eléctrica procedente de energías renovables, ocupando el dos por ciento la energía eólica.

Para finales del año 2003, el Fondo para el Medio Ambiente Mundial endosó el proyecto Plan de acción para eliminar barreras para la implantación comercial de la generación eoloeléctrica. Considerando la participación de varias instituciones públicas y privadas para lograr cinco puntos principales:

- 1) Formular y proponer políticas públicas que permitan la mejor explotación del recurso eólico nacional.

- 2) Generar las condiciones adecuadas a nivel regional para el desarrollo de capacidades tecnológicas y de generación de conocimiento, creando CERTE, que permitirán estudiar, interiorizar, mejorar, innovar y generar nuevo conocimiento de la tecnología. El primer centro se espera construir en el estado de Oaxaca con una inversión de 2.5 millones de dólares.
- 3) Estudiar los lugares más prometedores del país, mediante la instalación de 14 estaciones anemométricas, generando información de alta calidad.
- 4) Estudiar los impactos ambientales y sociales a nivel regional.
- 5) Gestionar y facilitar estudios de factibilidad técnico-económico de por lo menos tres proyectos de 15 a 20 MW para evaluación de rendimiento económico, bajo las condiciones mejoradas de las políticas públicas aprobadas e implementadas, de tal manera que estos proyectos se puedan llevar a cabo en economías de escala.

Para el primer punto, se ha consolidado en la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica en su sección de Permisos, artículo 78 referente a los permisos otorgados por la SENER exclusivamente para autoabastecimiento, cogeneración, producción independiente entre otras y que instituciones públicas y privadas están adquiriendo relevancia, algunas aplicaciones de esta ley se han manejado en apartados pasados, por mencionar algunos: el caso de Oaxaca, en la región de la Venta la producción de energía eólica queda a cargo de capital privado para el suministro de la cementera CEMEX, para el caso del sector público el gobierno de Mexicali está explotando en la región de la Rumorosa la central La Rumorosa 1, que se está destinando la generación de energía eléctrica al alumbrado público. Que a su vez sirve como antecedente del quinto punto donde se estudia la factibilidad económica para futuro financiamiento del Banco Mundial para estos proyectos. Se comienza entonces a ver una interacción entre los diferentes actores productivos, políticos y económicos para mejorar dichos proyectos de base tecnológica lo que se menciona en el capítulo de marco teórico como una política lineal de demanda.

Para el segundo punto si bien es cierto que los recursos humanos nacionales, con niveles altos de escolaridad (licenciatura y posgrado) han rebasado las cifras de países desarrollados como Alemania, no se ha traducido en mayor generación de conocimiento en el área de eoloelectricidad, debido a que hace falta generar los medios de cultivos propicios para la que la creatividad y el conocimiento generen innovación en la rama, así como nuevas capacidades tecnológicas. El desarrollo de los Centros Regionales de Tecnología Eólica es una

oportunidad más para experimentar y mantener estas atmósferas propicias para el desarrollo de innovaciones eoloeléctricas.

En el tercer punto podemos mencionar que los lugares más propensos para implantar la energía eólica en México está fuertemente relacionada con los estudios y trazado de atlas eólicos que instituciones privadas y extranjeras realizan en colaboración con la CONAGUA, SENER, el IIE y CFE, los atlas eólicos que se han realizado son de la región de Oaxaca, Baja California, Baja California Sur y Jalisco, que bajo condiciones de los tratados internacionales firmados ante la IEA, se han proporcionado dichos atlas para su almacenamiento en una base de datos internacional.

En el apartados anteriores se ha mencionado de algunos impactos sociales que la generación de energía eléctrica con energía eólica trae consigo, en resumen han mantenido fuentes de empleo para la mano de obra calificada nacional, genera nuevo conocimiento para personal de la CFE, el IIE y operarios privados, remuneración en salarios y prestaciones de más de mil personas, reducción de horas hombre en tecnologías ya implementadas (como el caso de Oaxaca), reduciendo su personal innecesario por la absorción de la producción de electricidad con la nueva tecnología. La reducción del impacto ambiental en las regiones donde se implementa la tecnología es alta, ya que las emisiones de CO₂ son nulas así como sus desechos provenientes de la producción de electricidad.

Por último el quinto punto converge en la suma de todos los proyectos e implementación de la energía eólica, principalmente en Oaxaca y Baja California, que en total son alrededor de cinco proyectos de diferentes magnitudes, que se han implementado y se están operando, el último corresponde al proyecto La Rumorosa 1 en Baja California que está operando y está generando 10 MW.

Según el IIE (2010) el proyecto consiste en la construcción y operación de una plataforma eoloeléctrica para el desarrollo de un programa nacional de I+D tecnológico. Se espera que se evalúe y asimile la tecnología eoloeléctrica, incrementando el conocimiento de la misma, desarrollando y adecuando normas técnicas, así como también desarrollando nuevas áreas de negocio, de componentes nacionales y alta capacitación de recursos humanos, teniendo en consideración que la información que derive de las investigaciones sea esparcido a través de las comunidades nacionales, interesadas en el tema.

El CERTE según el IIE (2010), tiene varios objetivos los cuales enlisto y discuto a continuación.

- Facilitar la formación de recursos humanos especializados.
- Facilitar la adecuación de la tecnología eoloeléctrica a condiciones locales.
- Realizar estudios estratégicos para mejorar el valor de la generación eoloeléctrica.
- Facilitar proyectos de investigación, experimentales y/ demostrativos.
- Facilitar los resultados de investigación, desarrollo tecnológico, o mejora continua de sistemas o componentes para aerogeneradores.
- Facilitar pruebas de desarrollos tecnológicos de aerogeneradores, que estén desarrollados con base en conocimiento de frontera.
- Facilitar la creación de redes con otros centros similares en el extranjero, así como también de empresas.
- Desarrollar o adecuar mejores prácticas en métodos de formulación, diseño, gestión, construcción, operación y mantenimiento de proyectos eoloeléctricos.
- Facilitar el desarrollo de proyectos combinados de generación eoloeléctrica con otras tecnologías o procesos para el desarrollo sustentable.

Para lograr las metas del proyecto se requerirá interacción con otras entidades del sector público, entre las que se identifican la CFE, el Gobierno del Estado de Oaxaca, la Comisión Reguladora de Energía, la SEMARNAT. Además de otras dependencias gubernamentales que coadyuven en la gestión del financiamiento necesario.

En 2008 el presupuesto aprobado por el GEF-PNUD se limitó a la construcción de la infraestructura básica y a la adquisición de un primer aerogenerador que para Marzo del 2009 arribo a México.

En la actualidad existen negociaciones para la firma de convenios con empresas nacionales y extranjeras, así como también centros de investigación, para la realización de pruebas de aerogeneradores y de sus componentes principales.

Conclusiones

El objetivo principal del presente trabajo fue analizar la problemática tecnológica y de innovación de la industria eólica en México. Por lo que podemos concluir lo siguiente.

En principio la estructura tecnológica del sector eléctrico en el país está constituido en más de un 90% por tecnologías convencionales de procesamiento principalmente de hidrocarburos para generar electricidad. Desde la creación de la primera empresa productora de energía eléctrica hasta la consolidación de instituciones y centros de investigación se cuenta con conocimiento y una trayectoria en la industria eléctrica de más de cien años, por lo que el conocimiento y aprendizaje acumulado le ha permitido al país sustentar las necesidades de las principales comunidades para generar e incrementar en la riqueza del país no solo en el sector eléctrico sino en todos aquellos que demandan el suministro de electricidad, sin embargo existe todavía una demanda que no ha sido satisfecha, como comunidades rurales y solicitudes del sector empresarial, existe en este rubro un mercado sin explotar y sin explorar, algunas iniciativas han sido lanzadas desde el mismo gobierno para permitir la inversión privada como son los proyectos conformados de La Venta, en Oaxaca, entre otros, La Rumorosa I, en Baja California, que en la actualidad se destaca por suministrar energía eléctrica para el alumbrado público de la ciudad de Mexicali.

La industria eólica en el mundo avanza a pasos agigantados gracias a la inversión en I+D, promoción y difusión de políticas públicas que permiten a las comunidades que adopten el cambio tecnológico en beneficio propio, así como también por la iniciativa que cuenta la misma sociedad en incursionar en nuevos negocios como es el caso del alemán Aloys Wobben quien según TLS (2010) afirma que sus primeros prototipos fueron hechos en su cochera con materiales electrónicos domésticos, y que para 1985 consolida su propia empresa con el nombre de ENERCON, misma que como se muestra en el capítulo anterior mantiene una alta tasa de patentes a pesar de no contar la empresa con una alta presencia en el país como lo hace VESTAS, GAMESA o ACCIONA que son las principales empresas a quienes se les han adjudicado licitaciones para la implementación y operación de proyectos de parques eólicos.

En términos de México la iniciativa propuesta por el gobierno Foxista y el actual han manifestado la necesidad de invertir más en energías renovables pero dejando de lado la visión de largo plazo, en la medida en que se invierta más en desarrollar tecnología propia, se

generaran mayores capacidades tecnológicas y *spin offs* que permiten el desarrollo a su vez de innovaciones en la industria eólica, como se menciona en el capítulo anterior no todas las invenciones patentadas llegan a culminar en innovación sin embargo y retomando el caso de Aloys Wobben puede pensarse en que se cuente con una estrategia empresarial que en un futuro le pueda redituarse económicamente, ya sea por medio de TT, explotación y aplicación del mismo conocimiento. Se encontró también que la trayectoria tecnológica de la industria eléctrica con energía eólica en el país data de alrededor de los años setentas con los primeros aerogeneradores provenientes de investigadores nacionales y que para su tiempo seguían en estado de la frontera del conocimiento al igual que otros países, sin embargo como se describe en el capítulo III se deja de patentar en la década de los ochentas en áreas estratégicas como son el desarrollo de motores de viento, nuevos materiales, métodos de construcción, operación de plantas y parques eólicos, en la actualidad se considera potencia mundial en la industria eólica a España, caso peculiar ya que para esos años no contaba con los prototipos establecidos en México, pero por el contrario a mediados de los años ochentas España comienza un programa de TT que le permite establecer vínculos con Dinamarca y la empresa VESTAS, generando sus propias CT en la materia y aún más generando una de las empresas más importantes a nivel mundial (GAMESA), que en la actualidad los proyectos eolieléctricos establecidos en México son principalmente a través de esta última y que se deja como pregunta abierta a futuras investigaciones ¿Por qué no existe un número mayor de patentes en México, en materia de energía eólica por parte de la empresa GAMESA y VESTAS?.

México es reconocido por contar con los mejores recursos eólicos a nivel mundial especialmente en la región de Oaxaca, en la actualidad como se analiza en el capítulo III se han desarrollado varios complejos eólicos como la Venta II y III y Oaxaca I, y en el norte del país se cuenta con el complejo eólico la Rumorosa I, en operación todos.

Hablando en términos de innovación se concluye que la producción de la misma es muy poca o nula, ya que no se cuentan con los mecanismos apropiados para generarlos, algunos de estos mecanismos identificados son:

- Políticas públicas bien establecidas y necesarias para que el mercado adopte la tecnología, pero que a su vez se genere un sistema similar al que describe Cimoli citado en Valenti (2008) (ver diagrama 4) redes promotoras de cambios técnicos en

todos los niveles, fenómeno que en México como se observa en el capítulo III se sigue una política en la que el gobierno es el encargado de generar la tecnología (y poca) y peor aún no existe una retroalimentación por el lado de los sectores involucrados y del mismo cliente, que permitan la vinculación entre los actores productivos (instituciones, empresas, centros de investigación y universidades).

- Los organismos encargados de generar el conocimiento como CFE, SENER, IIE, universidades y centros de investigación principalmente, no han podido: 1) generar redes entre ellos para generar capacidades y aprendizaje tecnológico en el área de la industria eólica, identificando dos áreas fuertemente potenciales para la innovación: motores de viento y formas de producción, conversión o distribución de la energía, 2) proponerse proyectos viables y alcanzables a corto, mediano y largo plazo, caso que en la actualidad se están generando pero son insuficientes para la demanda de energía que se proyecta para la siguiente década según la SENER en sus proyecciones realizadas para el 2020, y que en las mismas se hace referencia a incrementar más la participación de tecnologías más limpias, esto es que operen con menos recursos no renovables y 3) generar y dar continuidad en los centros de investigación y universidades el desarrollo tecnológico, de CT, redes nacionales e internacionales que permitan crear las atmósferas necesarias para innovar dentro y fuera de la industria eólica.
- El CERTE ha sido un paso importante por parte del IIE, universidades y organismos financieros para el desarrollo de tecnología eólica, aprendizaje y para estrechar vínculos con los sectores productivos, académicos, instituciones gubernamentales y financieras, en la región de Oaxaca e internacionalmente, permitiendo reactivar la generación de CT nacionales necesarias (por el lado de la investigación) para el desarrollo de la industria eólica.

En términos de TT es un mecanismo importante para generar innovación y CT, que se ha visto reflejado para el caso de España en la incubación y madurez de una empresa tan importante a nivel mundial como lo es GAMESA. En México se ha visto que empresas de España, E.U. Alemania y Dinamarca han aplicado tecnología eólica, pero que aún falta que las instituciones, centros de investigación, universidades y empresas nacionales las utilicen a su favor para desarrollar esas CT que le permitieron a España generar *spin offs* y empresas que mantienen la frontera del conocimiento en esta área.

Ubicando el cuadro 3, de Bell y Pavitt (1995) mencionada en el capítulo I de CT la industria eoloeléctrica se ubica dentro del primer renglón en el que sus capacidades de producción son básicas, hablando en términos de inversión las empresas y organismos financieros se ven comprometidos a invertir en la tecnología claro está asegurando también la recuperación de la misma en el corto plazo, se logran identificar proyectos como el CERTE que se destacan por inversión de infraestructura de bajo costo. En cuanto a la parte de producción los parques eólicos permiten la operación rutinaria y mantenimiento básico que a su vez puede generar estudios de eficiencia técnica y aprendizaje a través del tiempo. Dentro de las actividades de soporte se trata de generar *spin offs* que provean a estos parques eólicos de materiales como refacciones nacionales útiles para los aerogeneradores ya instalados.

Se puede concluir también que no existe una estrategia por parte del sector eléctrico (a pesar de que el gobierno federal, tiene su Estrategia Energética anual) para impulsar la industria eólica nacional, por lo que cabe replantearse ¿En donde se desea estar en el corto, mediano y largo plazo y con qué medios se llegará?.

Finalmente existen los recursos naturales aptos para la explotación de la tecnología eoloeléctrica en México, las zonas estratégicas actualmente estudiadas abarcan las costas del Pacífico desde Baja California hasta Chiapas, a excepción de Sonora, Sinaloa y Colima que cuentan con recurso eólicos pero estos son de baja potencia, sin embargo de estas regiones las únicas que se han comenzado a explotar y en baja proporción son como ya se menciona en el capítulo anterior Baja California y Oaxaca, entonces nuevamente se cuentan con los recursos naturales pero no se cuentan con las atmósferas apropiadas para que la industria adquiera un giro de innovación y que esta innovación sea impactada dentro del sector y de la misma sociedad.

Sugerencias para trabajos futuros

- 1) Estudio del CERTE como promotor de la innovación.
- 2) Profundizar en la investigación de políticas públicas involucradas para promover la tecnología e innovación en la industria eólica.
- 3) Estudio de la escases en México de los hidrocarburos y como posible agente de cambio tecnológico.
- 4) Estudio de la cadena productiva de la industria de la energía eólica en México.
- 5) El impacto de GAMESA en el desarrollo de aprendizaje y CT en la industria eólica de México.

Bibliografía

AEE (2009). Datos básicos de la eólica en España. *AEE*. Recuperado el 07 de Octubre de 2009, de: http://www.aeolica.es/contenidos.php?c_pub=101.

AFN (2009). Turbo power services construirá parque eólico en Mexicali. Recuperado el 13 de Junio de 2009, de: <http://afntijuana.info/blog/?p=3686>.

AWEA (2009). U.S Wind Energy Projects. Recuperado el 02 de Octubre del 2009, de: <http://www.awea.org/projects/>.

Aymamí, J & Vidal, J (2008). Nuevo atlas eólico de alta resolución del estado de Jalisco (México). Recuperado el 19 de Abril de 2010; en línea de:

http://www.meteosimtruewind.com/files/file/20080703-ATLAS_EOLICO_JALISCO_MEXICO_METEOSIM_TRUEWIND.pdf.

Bell y Pavitt (1995). “The development of technological capabilities”, en: I.u. Haqued(eds), Trade, Technology and International Competitiveness. The World Bank. Pp.66-101. Washington.

Berry, D (2009). Innovation and Price of wind energy in the U.S. *Energy Policy*. Recuperado el 01 de Octubre del 2009, de:

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6V2W-4WK4B52-9-3&_cdi=5713&_user=8476110&_orig=search&_coverDate=06%2F21%2F2009&_sk=99999999&_view=c&_wchp=dGLbVzz-zSkzV&_md5=cc27c2369168685cd4ef6e80bea9d535&_ie=/sdarticle.pdf

Borja, A (2003). Proyecto Eólico. Recuperado el 04 de Mayo de 2010; en línea de:

www.iie.org.mx/boletin042003/tend.pdf.

CFE (2010). División sureste. Departamento de Planeación. Recuperado el 3 de Mayo de 2010, de: www.cfe.org.mx

Cimoli, M. García, B. Garrido, C (2005). *El camino latinoamericano hacia la competitividad*. Siglo Veintiuno, UAM, División de Ciencias Sociales y Humanidades, 1º edición, México D.F.

Comisión Estatal de Energía de Baja California n.d., Parque Eólico La Rumorosa 1. Recuperado el 19 de Abril de 2010, de: <http://www.semarnat.gob.mx/presenciainternacional/fronteranorte/Documents/Presentaciones%20Taller%20de%20Cambio%20Climatico/29%20Parque%20Eolico%20La%20Rumorosa%20I%20Baja%20California.pdf>.

CONACYT (2009). Fondos sectoriales de energía SENER-CONACYT CFE-CONACYT. Recuperado el 22 de Diciembre de 2009, de:

http://www.conacyt.mx/Fondos/Sectoriales/SENER/Index_Energia.html.

CNN Expansión (2009). Energía eólica, alternativa para México. *CNN Expansión*. Recuperado el 12 de Abril de 2009 de:

<http://www.cnnexpansion.com/actualidad/2009/01/27/energia-eolica-alternativa-para-mexico>.

CONUEE (2009). Energía eólica. Recuperado el 22 de diciembre de 2009 de:

http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_612_energia_eolica.

COTEC (2008). *Pautas Metodológicas en Gestión Tecnológica y de la Innovación para Empresas*. Fundación COTEC para la innovación, 2º edición, España.

Enzensberger & Wietschel & Rentz (2002). Policy instruments fostering wind energy projects- a multi-perspective evaluation approach. *Energy Policy*. Recuperado el 07 de Enero de 2010, de: <http://www.sciencedirect.com>.

Erosa y Arroyo (2007). *Administración de la tecnología. Nueva fuente de creación de valor para las organizaciones*. LIMUSA Ed., 1º edición, México.

Escorsa, P y Valls, J. (2006). *Tecnología e innovación en la empresa*. Alfaomega Ed., 2º edición, Barcelona.

Escorsa, P y Maspons, R (2001). *De la vigilancia tecnológica a la inteligencia competitiva*. Prentice Hall Ed., 1º edición, Madrid.

Esp@cenet (2009). Searching Esp@cente-Latipat. *ep@cenet* Recuperado el 07 de Octubre del 2009, de: <http://es.espacenet.com/>.

Ettlie, J. (2000). *Managing technological innovation*. John Wiley & Sons Ed., 1° edición, New York.

GWEA (2009). Wind energy in Germany. *German Wind Energy Association (BWE)*. Recuperado el 02 de Octubre del 2009 de: <http://www.wind-energie.de/en/wind-energy-in-germany/>.

Higino, P (2004). International trade, economic growth and intellectual property rights: A panel data study of developed and developing countries. *Journal of development economics*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2009, de:

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6VBV-4GJM3XM-1-5&_cdi=5936&_user=4833025&_orig=search&_coverDate=12%2F31%2F2005&_sk=999219997&view=c&wchp=dGLbVtz-zSkzk&md5=8e0fdf935234174eaab090f4ff0352cb&ie=/sdarticle.pdf

von Hippel, E (2004). *Usuarios y suministradores como fuentes de innovación*. Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica, 1° edición, España.

Hoogwijk, M. Detlef van Vuuren, Bert de Vries, Wim Turkenburg (2006). Exploring the impact on cost and electricity in OECD Europe and the USA, results for wind energy. *Energy*. Recuperado el 19 de Noviembre del 2009, de:

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6V2S-4MBCBC2-1-7&_cdi=5710&_user=5675020&_orig=search&_coverDate=08%2F31%2F2007&_sk=999679991&view=c&wchp=dGLzVtz-zSkzV&md5=4ed7682101242d0535c489ac9437ed61&ie=/sdarticle.pdf

IEA (2009). Map energy indicators. *International Energy Agency*. Recuperado el 28 de Diciembre del 2009, de: <http://www.iea.org/country/maps/world/tpes.asp>.

IIE (2010). Centro Regional de Tecnología Eólica (CERTE). *Instituto de Investigaciones Eléctricas*. Recuperado el 07 de Agosto de 2010, de: <http://www.iie.org.mx/boletin022008/breves04.pdf>.

INEGI (2009). Base de datos GID proporción PIB. Recuperado el 28 de Diciembre de 1 2009. De:

<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=etec40&s=est&c=5881>.

IMPI (2009). Base de datos patentes. *IMPI*. Recuperado el 08 de Octubre del 2009, de: http://siga.impi.gob.mx/wb/SIGA/SIGA_resultados_de_busqueda#.

IMPI (2010). Base de datos patentes. *IMPI*. Recuperado el 27 de Diciembre del 2010, de: http://siga.impi.gob.mx/wb/SIGA/SIGA_resultados_de_busqueda#

Jianzhong, Dexin & Xiaolu. (2009). Status and prospects of Chinese wind energy. *Energy*. Pp 1-6. Recuperado el 12 de Noviembre del 2009, de:

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=1090646470&_sort=r&_view=c&_acct=C000059048&_version=1&_urlVersion=0&_userid=5675020&md5=33b4a49bcf6cc41edeef8e0baf9c9a27

Kim, L & Nelson, R (2000). *Technology, Learning, & Innovation. Experiences of newly industrializing economies*. Cambridge University Press Ed., 1º edición, España.

Lewis, Joanna & Wiser (2006). Fostering a renewable energy technology industry: an international comparison of wind industry policy support mechanisms. *Energy Policy*. Recuperado el 01 de Octubre de 2009, de: <http://www.sciencedirect.com>.

Nigel J, Gasc, E & Pasquier, S (2009). Innovations in multi-level governance for energy efficiency. IEA. Recuperado el 30 de Diciembre del 2009, de:

http://www.iea.org/papers/2009/mlg_final_web.pdf.

Penrose (2009). *The theory of growth of the firm*. Oxford University Press Ed., 4º edición, New York.

Philippine de T'Serclaes, Emilien Gasc & Aurélien Saussay (2009). Financial crisis and energy efficiency. IEA. Recuperado el día 30 de Diciembre del 2009, de:

http://www.iea.org/papers/2009/financial_crisis_ee_eewp.pdf

Power of wind (2009). Commit to the American Worker. *Video*. Recuperado el 02 de Octubre del 2009 de: <http://www.powerofwind.com/>.

PSE (2009). Programa Sectorial de Energía. *SENER*. Recuperado el 19 de Abril del 2010 de:

http://www.sener.gob.mx/portal/programa_sectorial_de_energia_2007-2012.html.

Utterback, J (1994). *Mastering the dynamics of innovation*. Harvard Business School Press Ed., 1º edición, United States of America.

Valenti, G (2008). *Ciencia tecnología e innovación. Hacia una agenda de política pública*. FLACSO MÉXICO Ed. 1º edición, México.

Zoltan, J (2000). *Regional Innovation, knowledge and global change*. Pinter Ed., London; New York.